

Mila Viksilä

# Yhdistetty todellisuus rakennesuunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennetekniikka

Insinöörityö

26.03.2018

Tekijä Otsikko	Mila Viksilä Yhdistetty todellisuus rakennesuunnittelussa
Sivumäärä Aika	43 sivua + 3 liitettä 26.03.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaajat	BIM-liiketoiminta ja kehitys -yksikön johtaja Max Levander Lehtori Mervi Toivonen
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Ramboll Finland Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia yhdistettyä todellisuutta rakennesuunnittelun eri osa-alueilla. Sen aikana käytössä oli Microsofтин HoloLens-älylasit, jotka ovat ensimmäiset kaupalliset yhdistetyn todellisuuden lasit.</p> <p>Laajennettu todellisuus, joka käsittää virtuaalitodellisuuden, yhdistetyn todellisuuden ja lisätyn todellisuuden on nousemassa arkipäiväiseen käyttöön eri toimialoilla. Varsinkin peliteknologiassa virtuaalitodellisuutta yritetään hyödyntää ja saada se kaupalliseen suosioon. Rakennusalaalla nähdään yhdistetyssä todellisuudessa potentiaalia ja sen takia myös Rambollilla lähdettiin tutkimaan tämän mahdollisuuksia. Rambollilla haluttiin selvittää, mihin käytötarkoituksiin suosittua yhdistettyä todellisuutta kannattaa käyttää ja mitä se vaatii.</p> <p>HoloLens-älylaseilla käytettiin kolmea eri sovellusta tietomallien katsomiseen. Trimble Connectia, Unitya ja SketchUpia vertailtiin niiden käytön perusteella. Trimble Connect sopi parhaiten tekniseen läpikäyntiin ja Unity sekä SketchUp varsinaiseen esittelykäyttöön.</p> <p>Tutkimusten ja kokeilujen jälkeen tavoitteena oli muotoilla yhdistetyn todellisuuden käytöstä palveluja, joita voidaan myydä asiakkaille. Käytiin läpi suunnitteluprojektin osa-alueita ja pohdittiin samalla, missä niistä laajennettua todellisuutta voitaisiin hyödyntää. Jo alkuvaiheessa päädyttiin keskittymään markkinointiin, yhteistyöhön ja niihin osiin, joissa tietomallilla on suuri rooli, kuten ristiintarkastelussa.</p> <p>Palveluja kehittyi opinnäytetyön aikana enemmän virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden, kuin yhdistetyn todellisuuden parista. Yhdistetyn todellisuuden laitteita on kuitenkin alkanut ilmestymään. Teknologian yleistymisen myötä laitteet ja sovellukset paranevat ja silloin yhdistetty todellisuus nousee virtuaalitodellisuutta ja lisättyä todellisuutta suosituemmaksi.</p> <p>Opinnäytetyön aikana haastateltiin Rambollin henkilöstöä ja asiakkaita, jotka kokeilivat HoloLens-laseja sekä muita laajennetun todellisuuden laitteita.</p>	
Avainsanat	HoloLens, yhdistetty todellisuus, virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus, Trimble Connect, VR, AR, MR, rakennesuunnittelu

Author(s) Title	Mila Viksilä Mixed reality in structural engineering
Number of Pages Date	43 pages + 3 appendices 26 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructors	Max Levander, BIM Business & Development Department Manager Mervi Toivonen, Principal Lecturer
<p>This thesis was made to the Ramboll BIM Business and Development -unit. The aim of the thesis was to study the mixed reality in different areas of structural design. During that time, Microsoft HoloLens smart glasses, which are the first commercial glasses of combined reality, were used in different cases and demonstrations.</p> <p>Extended reality, which includes virtual reality, mixed reality and augmented reality, is emerging for everyday use in various industries. In the construction sector, mixed reality is seen as potential help for design, and therefore Ramboll also wanted to investigate this technology. Ramboll wanted to find out different use cases and what they require.</p> <p>Three different applications, Trimble Connect, Unity and SketchUp were used in HoloLens to view 3D-models. They were compared based on their use cases and as a result it was found out that Trimble Connect was ideal for technical demonstrations and Unity as well as SketchUp for the customer demonstration.</p> <p>After research and experimentation, the goal was to design a few services based in mixed reality and HoloLens that could be sold to customers. With the help of HoloLens and mixed reality, a few projects were studied to find out in which parts of the projects mixed reality and HoloLens would be useful. Already in the early stages, it was decided to focus on marketing, co-operation and the parts where the building information model (BIM) plays a major role, such as cross-examination.</p> <p>During the study, the services developed more in virtual and augmented reality than they did in mixed reality. However, devices for mixed reality have begun to appear. As the technology becomes more common, devices and applications improve and then mixed reality most probably becomes more popular than virtual reality or augmented reality.</p>	
Keywords	AR, VR, MR, HoloLens, Trimble Connect, mixed reality, extended reality, augmented reality, virtual reality, structural engineering

## Sisällys

### Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Teknologia	2
2.1	Yhdistetty todellisuus	6
2.2	Lisätty todellisuus	10
2.3	Virtuaalitodellisuus	11
3	Rakennesuunnittelu	13
4	Ohjelmistopolku	15
4.1	Trimble Connect	17
4.2	Unity	23
4.3	SketchUp	25
5	Vuorovaikutus	26
5.1	Ihminen ja tietokone	27
5.2	Ryhmätyöskentely	28
6	Palvelukonseptointi	28
6.1	Arvolupaus	34
6.2	Kokemuksia ja havaintoja	35
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	42

### Liitteet

Liite 1. Trimble Connect -tiedostot ja suunnitteluohjelmat

Liite 2. Rakennesuunnittelu -mind map

Liite 3. Virtuaalitodellisuuspalvelut rakentamiseen

## Lyhenteet ja käsitteet

AR	Lisätty todellisuus (engl. Augmented reality)
ArchiCAD	Graphisoftin rakennussuunnitteluohjelma
AutoCAD	Autodeskin suunnitteluohjelmisto
BIM	Rakennuksen tietomalli (engl. Building Information model)
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (engl. Computer-aided Design)
HoloLens	Microsoftin kehittämät yhdistetyn todellisuuden hologrammilasit
MR	Yhdistetty todellisuus (engl. Mixed reality)
Revit	Autodeskin tietomallinnusohjelma
SketchUp	3D-mallinnusohjelma
Tekla Structures	Trimblen rakennesuunnitteluohjelma
Trimble Connect	Trimblen pilvipalvelu-perusteinen yhteistyöalusta
Unity	Pelimoottori
VR	Virtuaalitodellisuus (engl. Virtual reality)
XR	Laajennettu todellisuus (engl. Extended virtuality)

## 1 Johdanto

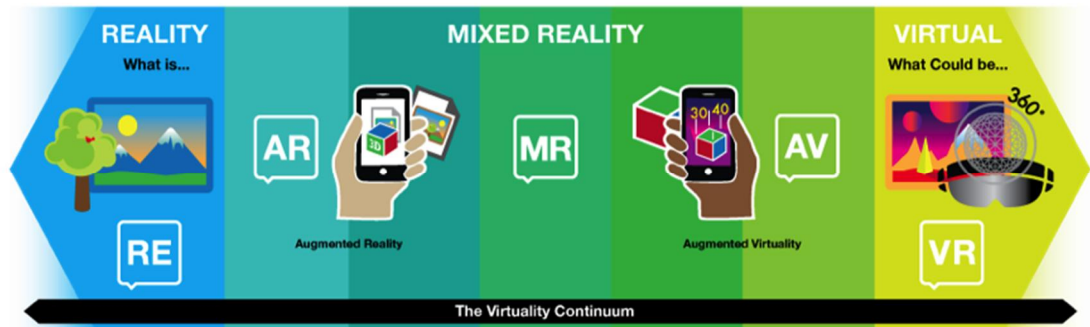
Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Ramboll Finland Oy, jonka omistaa tanskalainen Ramboll-säätiö. Ramboll on johtava kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointialan yritys, jolla on Suomessa noin 2 300 ja kansainvälisesti noin 13 000 työntekijää.

Rakennesuunnittelulla tarkoitetaan yleensä rakennuksen kantavien rakenteiden suunnittelua sekä rakenteiden lujuuslaskentaa. Tässä opinnäytetyössä rakennesuunnittelua kuvataan pääosin projekti- ja tiimityöskentelyn kautta. Opinnäytetyö on tehty Rambollin BIM liiketoiminta ja kehitys -yksikölle, joka kuuluu Rakennetekniikka-sektoriin.

Ramboll Finlandin vuoden 2017 digitaalisuuden kärkihankkeeksi nostettiin HoloLens-projekti, jossa tutkitaan yhdistettyyn todellisuuteen perustuvien lasien hyödyntämistä suunnittelun eri vaiheisiin. Tarkoituksena oli tutkia mitä hyötyä ja etuja HoloLens-älylasien käytöstä ja yhdistetystä todellisuudesta on rakennusprojekteissa ja samalla luoda mahdollisia myytäviä palveluja asiakkaille. HoloLens-projekti nostettiin esille, kun uusia keinoja rakennusprojektien yhteistyön tehostamiseksi sekä havainnollistamisen parantamiseksi etsittiin.

Microsoftin vuonna 2015 lanseeraamat HoloLens-älylasit ovat yksi ensimmäisistä toimivista yhdistetyn todellisuuden laseista. Yhdistetty todellisuus tarkoittaa todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden yhdistävää näkymää. HoloLens-älylaseissa tuodaan virtuaaliset objektit hologrammeina todelliseen maailmaan, jossa niiden kanssa voidaan olla vuorovaikutuksessa. [1.]

Vuonna 1994 Paul Milgram kehitti todellisuus-virtuaalisuusjatkumon (kuva 1), jossa liisätty todellisuus (AR) sijoittuu yhdistetyn todellisuuden (MR) alle. Jatkumossa määritellään eri todellisuuksien erot oikeasta maailmasta virtuaalitodellisuuteen. Virtuaalitodellisuudessa ei nähdä muuta kuin keinotekoinen maailma, joka on yleensä visualisoitu näyttävän näköiseksi. Yhdistetyssä todellisuudessa oikea maailma ja keinotekoiset objektit sekoittautuvat samaan näkymään. [16.] Extended reality (XR) eli laajennettu todellisuus termiä käytetään keskusteltaessa kaikesta virtuaalimaailmaan liittyvästä. [17.]



Kuva 1. Milgramin jatkumo yhdistetystä todellisuudesta [16.]

Yhdistetyn todellisuuden uskotaan kehittyvän muutaman vuoden sisällä niin sanotuksi jokamiehen arkitodellisuudeksi, joten sen teknologian ja mahdollisuuksien aikaisilla omaksujilla on etulyöntiasema. Virtuaalitodellisuus ja yhdistetty todellisuus ovat kovassa nousussa yrityspuolella ja niistä nähdään olevan hyötyä, varsinkin rakennusallalla. Parhaimmillaan ne edistävät sidosryhmien parempaa kommunikointia ja helpottavat hankkeen myymistä muun muassa sijoittajille. Nämä seikat vähentävät projektin kustannuksia ja edesauttavat projektin valmistumista aikataulussa.

Nykyisin valtaosalla puhelimen käyttäjistä on älypuhelin, joita kehitetään ja joihin lisätään uusia toimintoja jatkuvasti. Myös lisätyn todellisuuden sekä virtuaalitodellisuuden sovelluksia on julkaistu monilta eri tekijöiltä, mutta toistaiseksi älypuhelimissa ei ole ominaisuuksia ympäristön ymmärtämiseen, joten yhdistetyn todellisuuden sovelluksista ei löydy kokemuksia.

## 2 Teknologia

Teknologia on kehittynyt ja kehittyy nopeaa tahtia koko ajan ja käsillä on aikakausi, jossa on mahdollista tuntea, kuulla ja nähdä erilaisia todellisuuksia. Kuvassa 2 on eritelty virtuaalitodellisuus (VR), lisätty todellisuus (AR) ja yhdistetty todellisuus (MR). Virtuaalitodellisuus käsittää kokonaan keinotekoisien maailman, joka on varsin suosittu peli- ja viihdekäytössä. Lisätyssä todellisuudessa todellista maailmaa kohennetaan keinotekoisilla elementeillä, esimerkiksi puhelimen kameraa käyttämällä saadaan 3D-mallinnettu talo esiin 2D-piirustuksesta. Yhdistetyssä todellisuudessa kohdataan todellisen maailman ja

virtuaalitodellisuuden yhdistävä näkymä, jossa keinotekoisien maailman objektit tunnistavat tilan ja sekoittautuvat oikeaan maailmaan. [4.]



Kuva 2. Virtuaalitodellisuus (VR), lisätty todellisuus (AR) ja yhdistetty todellisuus (MR)

VR, AR ja MR -lyhenteiden lisäksi on käyttöön otettu myös termi XR, joka tulee sanoista Extended Reality eli suomeksi laajennettu todellisuus (kuva 3). Termi viittaa kaikkiin todellisiin ja virtuaalisiin yhdistettyihin ympäristöihin ja ihmisen ja koneen vuorovaikutuksiin, jotka syntyvät tietotekniikan ja puettavien laitteiden välillä. Se sisältää lisätyn todellisuuden (AR), lisätyn virtuaalin (AV) ja virtuaalitodellisuuden (VR) ja niiden yhdistelmät. [17.]

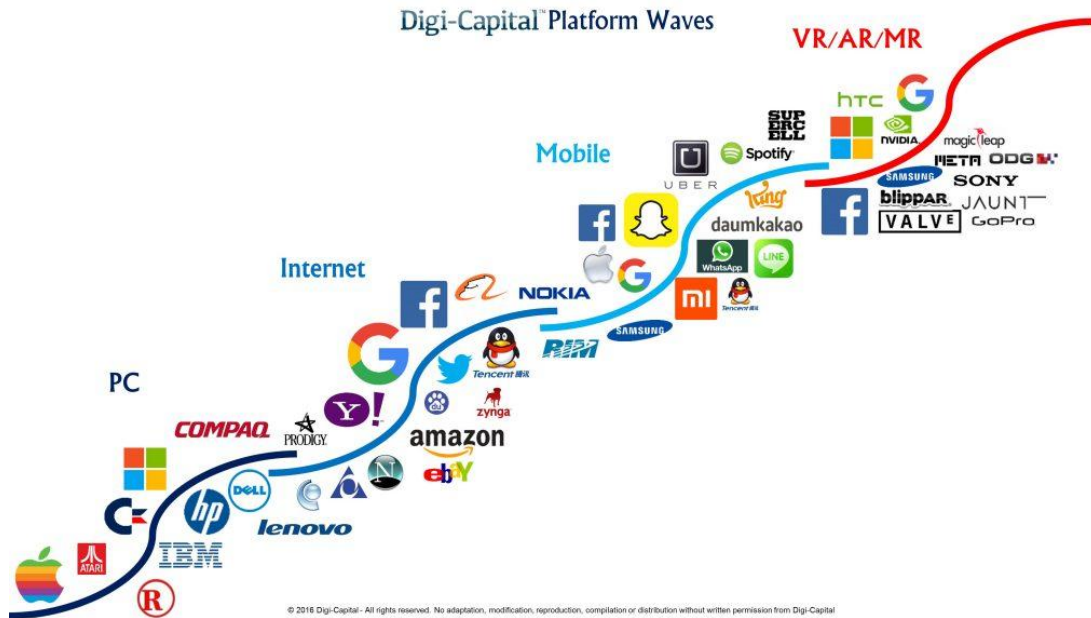


Kuva 3. XR eli Extended Reality, suomeksi laajennettu todellisuus yhdistää VR, AR ja MR yhden termin alle [17.]

Markkinoilla tietokoneiden ja digitaalisten alustojen kehitys voidaan jakaa sukupolvittain neljään eri aikakauteen (kuva 4). Ensimmäinen aikakausi alkoi, kun tietokoneet tulivat kaikkien saataville. Internetin tuleminen käynnisti toisen aikakauden ja kolmas aikakausi



tuli matkapuhelinten ja niistä seurattujen sovellusten mukana. Tällä hetkellä käynnistymässä on neljäs aikakausi, jonka virtuaalitodellisuus ja yhdistetty todellisuus ovat yhdessä aloittaneet. Jokainen aalto on ollut edellistään isompi ja nopeampi, joten voidaan olettaa näiden teknologioiden hyödyntämisen olevan seuraava ”iso juttu”. [4.]



Kuva 4. Markkinoiden tietokonemuutoksien neljä aaltoa. [4.]

Virtuaalitodellisuus on jo osittain löytänyt paikkansa kuluttajien käsistä, mutta lisätty todellisuus ja yhdistetty todellisuus odottavat vielä läpimurtoaan. Microsoftin HoloLens-keksijä Alex Kipman julisti keväällä 2017, että älypuhelimet ovat jo kuolemassa ja yhdistetty todellisuus sekä sille suunnitellut laitteet tulevat kypsyessään ja kehittyessään korvaamaan älypuhelimet. Yhdistetty ja lisätty todellisuus tulevat näin ollen vielä suosituimmaksi kuin virtuaalitodellisuus. [5.]

Virtuaalitodellisuuden tuleminen markkinoille ensimmäistä kertaa tapahtui jo 1960-luvulla, jolloin Morton Heilig kehitti Sensoraman, arcade-tyylisen teatterikabinetin, virtuaalitodellisuuden ja laajennetun todellisuuden teknologia on yritetty tuoda markkinoille neljä kertaa, mutta vasta nyt teknologia on tarpeeksi kehittynyttä todelliselle läpimurrolle. [15.]



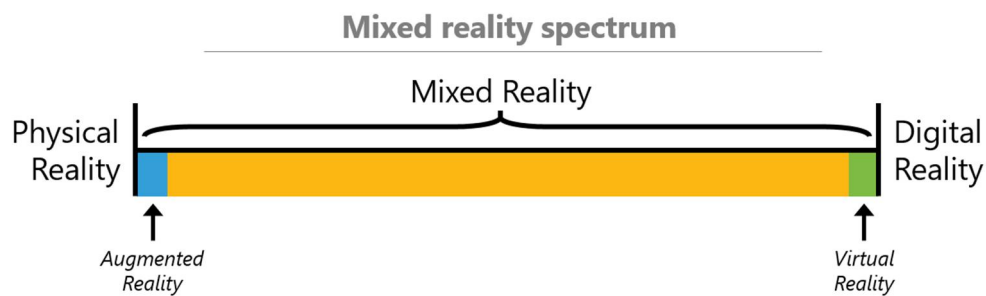
Kuva 5. Market Curve -elinkaari [6.]

The Market Curve -elinkaari (kuva 5) esittää laajennetun todellisuuden elinkaaren ensimmäisestä innovaatiosta tähän päivään eli kulutuskäyttöön asti. Uuden teknologian lanseerauksen jälkeen alkaa innostusvaihe, joka johtaa realiteettien kohtaamiseen, tässä tapauksessa teknologia ei ollut vielä valmista varsinaisille käyttäjille. Laskun jälkeen koitetaan uudestaan nousua markkinoille paremmalla teknologialla tai hyväksytään lopulta epäonnistunut teknologia, jollei se vielääkään ilmesty kuluttajien käsiin. Virtuaalitodellisuus ja yhdistetty todellisuus ovat monen yrityksen jälkeen nousussa ja teknologia on vihdoinkin valmis siihen. Nyt odotetaan vain yritysten valmiutta hyödyntää tätä teknologiaa eri osa-alueilla ja valmistaa kuluttajille sopivia laitteita ja sovelluksia. [6.]

Kun lisätty todellisuus ja yhdistetty todellisuus on kaikkien saatavilla, tulevat ne tuottamaan paremmin kuin virtuaalitodellisuus, koska ne nähdään paljon hyödyllisempinä. Virtuaalitodellisuus tarjoaa ihmisille uusia kokemuksia, jotka eivät kuitenkaan ole välttämättömiä, kuten viihde- ja elämyskäyttö. Yhdistetty ja lisätty todellisuus tuovat esimerkiksi tarpeellisia asioita näkökenttään, jolloin ne voivat toimia apuvälineinä.

## 2.1 Yhdistetty todellisuus

Yhdistetty todellisuus (engl. Mixed Reality, MR, tunnetaan myös nimillä sekoitettu todellisuus ja laajennettu todellisuus) käsittää laajan skaalan kokemuksia, jotka ovat aikaisemmin luokiteltu joko lisättyyn todellisuuteen tai virtuaalitodellisuuteen (kuva 6). Yhdistetyssä todellisuudessa ihmiset, paikat ja objektit todellisesta maailmasta ja virtuaalimaailmasta yhdistyvät yhteiseen näkymään. Microsoft lanseerasi Mixed Reality -sanan uudestaan HoloLens-lasien kanssa koskemaan juuri tämän kaltaista yhdistettyä tai lisättyä todellisuutta. HoloLens-laseissa keinotekoiset objektit sekoittautuvat oikeaan maailmaan hologrammeina ja tietokone tunnistaa tilat ja tasot. Näin esimerkiksi liikkuminen todellisessa maailmassa kääntyy liikkumiseksi digitaalisessa ympäristössä, jolloin fyysisten tilojen rajoitukset vaikuttavat liikkumiseen myös digitaalisessa ympäristössä. Yhdistetty todellisuus mahdollistaa vuorovaikuttamisen hologrammien kanssa sekä digitaalisen sisällön havainnollistamisen ja käsittelemisen osana todellista maailmaa. [1, 2.]

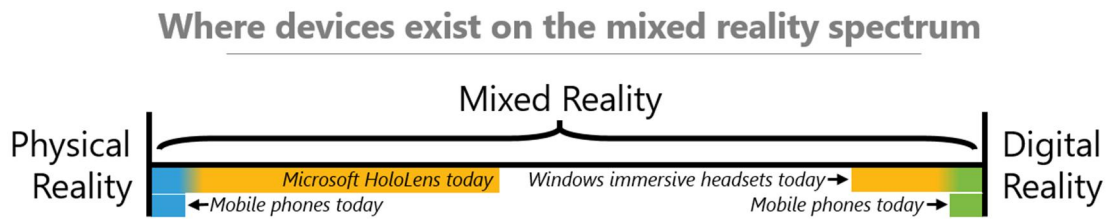


Kuva 6. Yhdistetyn todellisuuden (MR) jatkumo [2.]

Koska yhdistetty todellisuus on fyysisen maailman ja digitaalisen maailman sekoitus, määrittävät nämä maailmat yhdistetyn todellisuuden jatkumon päätepisteet. Vasemmalla on fyysinen oikea maailma, jossa me elämme ja oikealla digitaalinen maailma. [2.]

Yhdistetyn todellisuuden kokemuksia voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

1. Fyysisessä maailmassa digitaalisen objektin lisääminen hologrammina, niin kuin objekti olisi oikeasti siellä
2. Fyysisessä maailmassa digitaalinen esitys toiselle henkilölle, esimerkiksi avatar, joka näyttää paikan jossa esitystä katsotaan.
3. Digitaalisessa maailmassa fyysisen maailman fyysisillä rajoilla, kuten seinillä ja huonekaluilla, jotka ilmestyvät digitaalisesti ilman, että käyttäjän tarvitsee nähdä fyysistä objektia. [2.]



Kuva 7. Yhdistetyn todellisuuden laitteet sijoitettuna jatkumolle [2.]

Yllä olevaan yhdistetyn todellisuuden jatkumoon (kuva 7) on merkitty laitteita, jotka mahdollistavat jatkumon eri näkymät. Älypuhelimet sijoittuvat kumpaankin päähän jatkumoa, koska niillä saadaan otettua sekä kuvaa ja videota oikeasta maailmasta ja niiden kautta voidaan myös näyttää virtuaalitodellisuutta. Älypuhelimilla voidaan myös esitellä lisättyä todellisuutta. Lisätyn todellisuuden sovelluksia on alkanut tulla älypuhelimille Pokémon GO:n suosion jälkeen. Microsoft HoloLens ei kata kaikkia yhdistetyn todellisuuden mahdollisuuksia, vaan on enemmän todellisen maailman päässä eli todelliseen maailmaan lisätään keinotekoisia objekteja tai elementtejä hologrammeina. [2.]

”Windows immersive headsets” tarkoittaa Acerin ja HP:n Windows Mixed Reality Development Edition -laitteita, joissa on käytetty Microsoftin HoloLens-tekniikkaa. Ensimmäisten demojen perusteella käyttäjä sulkeutuu kokonaan virtuaaliseen maailmaan, mutta sinne saadaan HoloLens-laseista tuttuja elementtejä, kuten Internetin selainikkunoita ja Skype. [2.]

Microsoft HoloLens on Microsoftin valmistama ensimmäinen itsenäinen holograafinen tietokone (kuva 8) ja tämän myötä yksi ensimmäisiä yhdistetyn todellisuuden laitteista. HoloLens-älylasit mahdollistavat yhteyden digitaaliseen sisältöön ja vuorovaikutuksen hologrammien kanssa. Älylasit toimivat Windows 10 -käyttöjärjestelmällä ja ne sisältävät keskimääräistä kannettavaa tietokonetta enemmän laskentatehoa. HoloLens-älylasit toimivat ilman johtoja ja ulkoisia kameroita, joten niiden kanssa voi liikkua vapaasti ja itsenäisesti, kun käyttäjä näkee koko ajan oikean maailmankin. HoloLens ei tarvitse yhteyttä tietokoneeseen tai matkapuhelimeen, mutta yhteyden luomiseen on käytettävissä WLAN- ja Bluetooth-yhteydet. [2.]



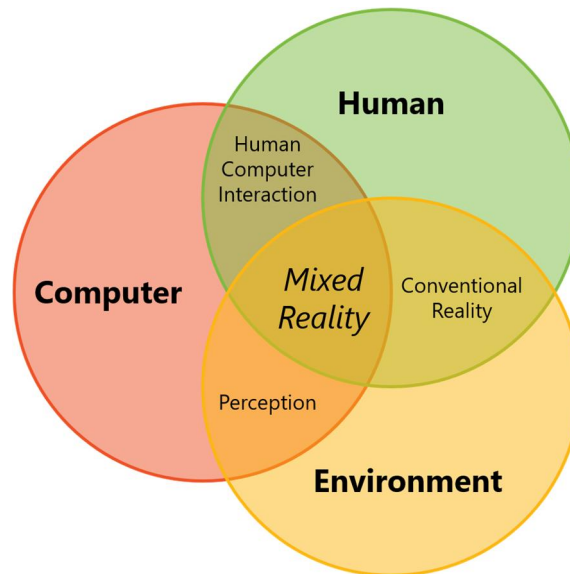
Kuva 8. HoloLens-älylasit sivulta ja edestä

HoloLens toistaa kuvaa kahdesta pikoprojektorista, joiden kuvasuhde on 16:9. Hologrammit näkyvät vain pienessä osassa käyttäjän näkökenttää, mutta kuva muuttuu katsetta kääntäessä. HoloLens hahmottaa ympäristön kolmiulotteisesti, sitä kartoitetaan jatkuvasti silmikon reunoille sijoitetuilla neljällä kameralla. Viides kamera seuraa käyttäjän ohjauseleitä. HoloLens tunnistaa kahdenlaisia ohjauseleitä; kukka (flower) eli kämmenen Avaus avaa aloitus-valikon ja sormien nipistys (pinch) toimii hiiren klikkailuna (kuva 9). Sensorit tunnistavat ohjauseleet muutaman kymmenen senttimetrin kumminkin puolin päätä. [3.] HoloLens heijastaa kolmiulotteisen objektin hologrammina valitulle pinnalle, jota kamerat havainnoivat koko ajan. Objektia voidaan tarkastella eri suunnista, läheltä ja kaukaa. Objekti pysyy paikallaan ja käyttäjä voi liikkua sen ympärillä. [2.]



Kuva 9. HoloLens-ohjauseleet Pinch ja Flower [3.]

HoloLens toimii myös ääniohjauksella, jota kuuntelee 4 mikrofonia. Microsoftin Cortana-järjestelmä on älykäs henkilökohtainen avustaja, joka tunnistaa puhetta. Cortana toimii toistaiseksi vain englannin, portugalin, ranskan, saksan, italian, espanjan, kiinan ja japanin kielillä, joten suomen kieltä se ei ymmärrä. [3.]



Kuva 10. Yhdistetyn todellisuuden kolme osaa [2.]

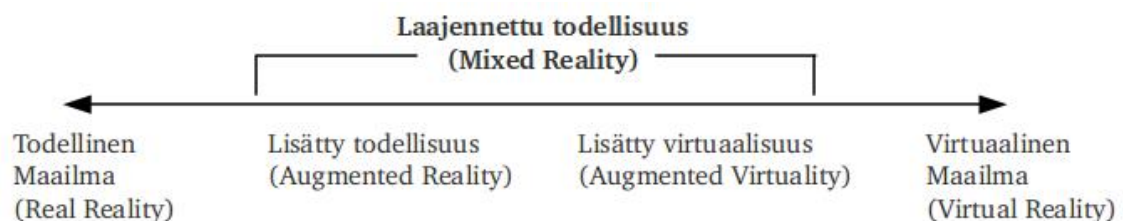
Yhdistetty todellisuus on kolmen asian yhteinen vaikutus (kuva 10). Pitkään on tutkittu ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutusta, mutta nyt teknologiaharppauksien jälkeen tietokoneet osaavat myös aistia ympäristöä. Ympäristön aistiminen on tärkeä osa yhdistettyä todellisuutta, koska muuten ei virtuaalista maailmaa voida yhdistää oikeaan maailmaan. Lisätyssä todellisuudessa virtuaaliset elementit ovat kiinnittyneitä vain yhteen pisteeseen ja ne sijaitsevat tietokoneen tai älypuhelimien näytöllä. Yhdistetyssä todellisuudessa elementit kiinnittyvät oikean maailman tasoihin ja päättää käännettäessä ne sijaitsevat vielä samassa paikassa. Vaikka tietokone ja ympäristö pystyvät vuorovaikuttamaan ilman ihmistä, tarvitaan ihminen kuitenkin käyttämään tietokonetta, jotta yhdistetty todellisuus syntyy.

Ihmisen tietokoneen vuorovaikutus (HCI) syntyy ihmisen panostuksesta ja tietokoneen suhteesta. Ihminen muodostaa suhteen tietokoneen kanssa muun muassa näppäimistöllä, hiirellä, kosketuksella, äänellä ja musteella. Tietokoneen vaikuttamista ympäristön kanssa kutsutaan ympäristötekniiseksi ymmärtämiseksi tai havainnoinniksi. Sen tuloksena havainnoidaan ihmisen asemaa maailmassa, pintoja ja rajoja, valaistusta, ääntä ja esineiden tunnistusta ja sijaintia. Näin tietokoneen, ihmisen ja ympäristön yhdistelmällä saadaan luotua todellisia yhdistetyn todellisuuden kokemuksia. HoloLens on ensimmäinen kaupallinen laite, joka yhdistää kolme asiaa; ympäristön, tietokoneen sekä ihmisen, toimivaksi järjestelmäksi. HoloLens havainnoi siihen liitetyillä kameroilla rajoja ja pintoja sekä kuuntelee ääntä. Kun ihminen laittaa lasit päähänsä, hän saa täyden kokemuksen yhdistetystä todellisuudesta. Yhdistetyn todellisuuden hyödyntämiseen tarvitaan siis tietokone, joka ymmärtää pintoja ja tunnistaa sijainnin. [2.]

## 2.2 Lisätty todellisuus

Lisätyn todellisuuden (engl. Augmented Reality, AR, tunnetaan myös nimellä augmentoitu todellisuus) tarkoituksena on luoda näkymä, jossa todelliseen maailmaan tuodaan paikkaan sidottuja virtuaalisia objekteja. Lisätty todellisuus on osa yhdistettyä todellisuutta (kuva 11), mutta lisätyssä todellisuudessa objektien kanssa ei vuorovaikuteta, joka on suurin erottuva tekijä. Lisätyssä todellisuudessa digitaalinen materiaali niin sanotusti lisätään todellisen maailman päälle, joten materiaali ei ole millään tavalla vuorovaikutuksessa todellisen maailman sisällön kanssa. [2, 16.]

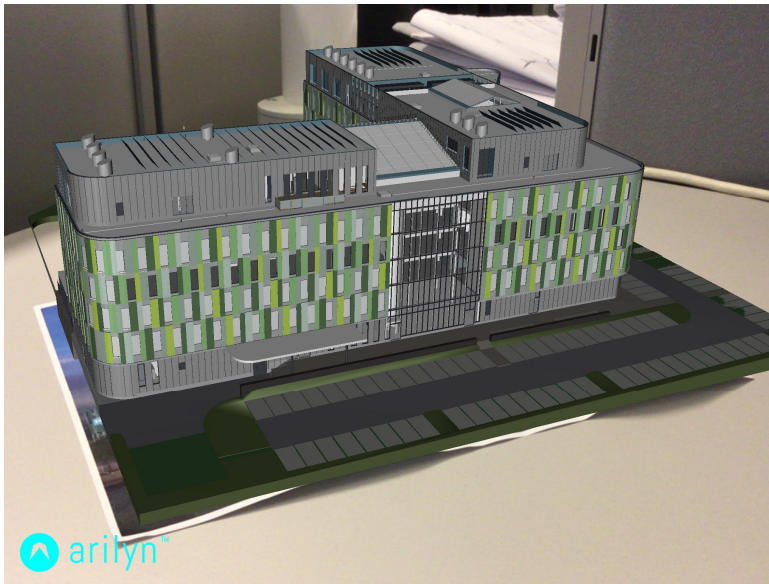
Älypuhelinien yleistyessä lisätty todellisuus on noussut enemmän esille. Kannettavien laitteiden, kameroiden ja näyttöjen kehittyminen ovat lisänneet kiinnostusta lisätyn todellisuuden sovelluksille. Lisäksi laitteiden paikannusominaisuuksien ja laskentatehon paraneminen parantavat sovellusten käyttöä. [7.]



Kuva 11. Milgramin jatkumo; kevyesti lisätystä todellisuudesta kohti täydellisempää immersiota eli virtuaalitodellisuutta

Lisättyä todellisuutta pidetään virtuaalitodellisuuden täydentäjänä, sillä molemmissa todellisuuksissa käytetään osin samoja tietokonegrafiikan ja visualisoinnin teknologioita. Rakennusosalalla tyypillinen lisätyn todellisuuden käyttökohde on suunniteltujen rakennusten visualisointi tulevalla rakennuspaikalla otettuun todelliseen videokuvaan. Lisätyn todellisuuden laitteet voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan; päässä pidettävät, kädessä pidettävät ja projektionäytöt. Varsinkin päässä pidettäviin laitteisiin liittyy pahoinvointia ja päänsärkyä, kun keinotekoisesti tuotetut ja todellisen maailman aistiärsykkeet aiheuttavat ristiriitoja. [2.]





Kuva 12. Lisätty todellisuus Arilyn-sovelluksella

Suomesta on noussut lisättyyn todellisuuteen perustuva Arilyn-sovellus, jonka kautta monet yritykset, kuten Helsingin Sanomat ja Linnanmäki ovat tehneet lisätyn todellisuuden kampanjoita. Näin esimerkiksi tapahtumien mainokset voivat herätä henkiin Arilynin kautta katsottuna ja saada enemmän näkyvyyttä. Arilyn-sovelluksella lisättyä todellisuutta voivat olla esimerkiksi kuvat, videot, 360-videot, 3D-mallit ja musiikki. [7.] Kuvassa 12 on Arilyn-sovelluksella paperista skannattu kuva, jonka päälle ilmestyy 3D-malli. 3D-malli on viety suoraan IFC:stä pelimoottoriin ja sitä kautta Arilyn-sovellukseen. Kuvassa on Ramboll Finlandin uusi pääkonttori, joka valmistuu vuonna 2019 Perkkäälle, Espooseen.

### 2.3 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus (engl. Virtual Reality, VR) on keinotekoinen ympäristö, jota yleensä katsotaan virtuaalilasien läpi. Syvyysvaikutelman, korkeuden ja perspektiivien avulla virtuaalimaailma tuntuu aidolta, jolloin katsoja siirtyy virtuaaliseen maailmaan ja sulkee fyysisen todellisuuden ulkopuolelle. [12.]

Edullisimpiin virtuaalitodellisuuslaseihin, kuten Google Cardbord (kuva 13), kytketään vain älypuhelin kiinni eli niitä voidaan kutsua ”tavallisen ihmisen VR-laseiksi”, koska lähes jokaisella on nykyään älypuhelin. Puhelimen näyttö jakaantuu kahteen osaan, kun painetaan Cardbord-kuvaketta. Käyttäjän molempiin silmiin heijastettua eri tavoin taittu-



vaa kuvaa. Cardbord-laseissa tarkastellaan 360° -panoraamakuvia tai -videoita. Cardbord-lasit eivät ole laadukkaimmasta päästä, vaan niiden kautta nähtävä kuva on sumea. Kalleimmissa ja laadukkaimmissa laseissa on oma näyttöpaneeli, joten ne eivät vaadi älypuhelimien käyttöä. [12.]



Kuva 13. Ramboll Google Cardbord -pahvilasit

VR-laseihin, kuten Oculus Rift ja HTC Vive, mallit visualisoidaan oikean näköisiksi käyttäen esimerkiksi 3ds Max -ohjelmaa. HTC Viven mukana tulee käsiohjaimet, joiden avulla voidaan käyttää käsiä sekä siirtyä paikasta toiseen virtuaalimaailmassa. HTC Vive ja Oculus Rift vaativat toimiakseen tehokkaan tietokoneen lasien rinnalle. [12.]

VR-laseihin tuotetaan kahta erilaista sisältöä, 360-videoita ja keinotekoisia maailmoita. 360-videoihin on taltioitu tosielämän tilanteita, joissa katsoja pystyy katselemaan vapaasti ympärilleen. Keinotekoiset maailmat ovat yleensä pelejä, joissa voi liikkua pelimaailman sisällä ja hallita omaa liikkumista. Suurin osa VR-laseille tuotetusta sisällöstä on pelejä. VR-laseille luodaan kokemuksia tämän maailman ulkopuolelta, niitä ei voi kokea muuten kuin virtuaalitodellisuudessa. Jotkin sovellukset voivat aiheuttaa pahoinvointia tai päänsärkyä. Jos virtuaalikokemus on intensiivinen, voi se aiheuttaa pahoinvointia. Cardbord -laseista voi tulla myös helposti päänsärkyä, kun silmät joutuvat tarkentamaan sumeaa kuvaa koko ajan. [12.]

### 3 Rakennesuunnittelu

Suunnittelijan tavoitteena on tehdä rakennesuunnitelmat, joilla rakennus tai rakenne voidaan toteuttaa ja ylläpitää. Rakennesuunnittelijan työn kuva on muuttunut nopeasti käsin piirtämisestä tietokoneavusteiseen suunnitteluun. CAD-ohjelmat ovat lisääntyneet ja nykyään rakennukset usein tietomallinnetaan eli malli sisältää rakennuksen ja rakenteiden geometrian sekä informaatiota rakennuksesta ja rakenteista. Kun tietomallinnus on vakiokäytäntö kaikkialla, seuraava luonnollinen askel voikin olla rakennuksen suunnittelu suoraan virtuaalimaailmassa. Toistaiseksi virtuaalimaailmassa suunnittelu sopii parhaiten sisustussuunnitteluun, koska se ei vaadi niin tarkkoja mittoja ja tietoja, kuin rakennussuunnittelu. Monet huonekaluyritykset, kuten IKEA, ovat tehneet omia sovelluksia, joissa huonekalut voidaan asetella huoneeseen älypuhelimien näytöllä.

Rakennesuunnittelun laajaan käsitteeseen sisältyy tehtäviä pääsuunnittelijana toimimisesta konsultointiin ja työmaan ohjaukseen sekä tietomallintamisesta lujuuslaskentaan. Rakennesuunnittelijan työn osa-alueita on lueteltu liitteessä 1. Sieltä on nostettu olennaisimmat laajennettuun todellisuuteen liittyvät taulukkoon 1. Taulukossa 1. on esitetty monia rakennesuunnitteluun liittyviä työnkuvia ja osa-alueita. Kohteita on käsitelty lyhyesti sen mukaan, kuinka paljon laajennetun todellisuuden nähdään antavan hyötyä kyseiseen työvaiheeseen tai osa-alueeseen. Jokaiselle kohteelle on määritelty luokka 1, 2 tai 3, jossa 1 tarkoittaa, että kyseisessä osa-alueessa ei voida tai on erittäin vaikeaa hyödyntää laajennettua todellisuutta ja 3 tarkoittaa, että laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää kyseisessä osa-alueessa hyvin.

Taulukko 1. Rakennesuunnittelun tehtävät ja osa-alueet luokiteltuna laajennetun todellisuuden hyödyntämisen perusteella

KOHDE	LUOKKA 1	LUOKKA 2	LUOKKA 3
Pääsuunnittelija		X	
Konsultointi			X
Toteutussuunnittelu	X		
Luonnossuunnittelu			X
Rakennuslupa		X	
Palotekninen suunn.	X		
Detaljit		X	
Rakennesuunnittelu	X		
Uudisrakennus		X	
Työmaan ohjaus		X	
Kestävä kehitys		X	
Tyyppiratkaisut			X
Lujuuslaskenta	X		
Ristiintarkastelu			X
Yhteistyö / kokoukset			X
Elinkaari-suunnittelu		X	
Muutos vaihtoehdot			X
Peruskorjaus			X
Tietomallinnus	X		
Materiaalin valinta		X	
Betonirakenteet	X		
Teräsrakenteet	X		
Kantavat rakenteet	X		
Inventointimallinnus	X		
Paikan sopivuus		X	
Kuormitus	X		
Konepajapiirustukset			X

Opinnäytetyön aikana huomattiin, että varsinaiseen rakennesuunnitteluun eli lujuuslaskentaan, mitoitukseen ja rakenteiden suunnitteluun laajennettu todellisuus ei auta. Monista osa-alueista löytyi kuitenkin monia projektityöskentelyyn liittyviä osia, joissa voidaan hyödyntää laajennettua todellisuutta, oli se sitten lisättyä todellisuutta, virtuaalito-

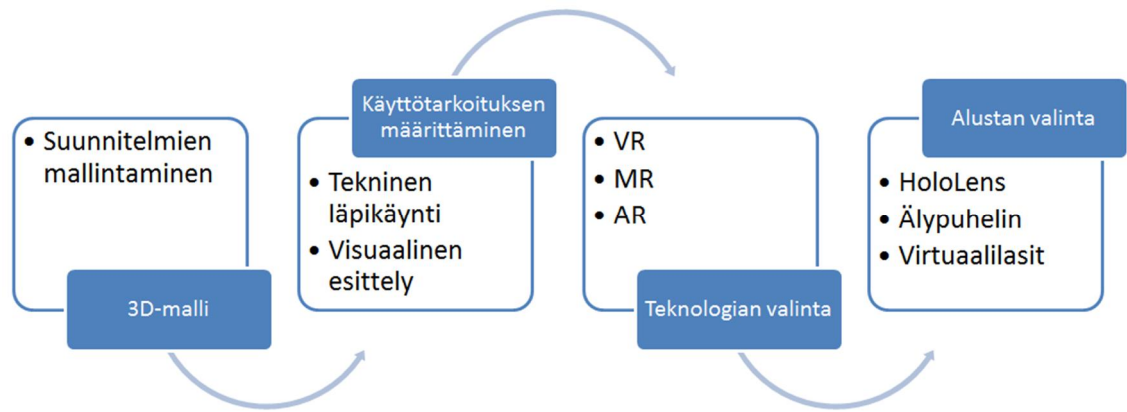
dellisuutta tai yhdistettyä todellisuutta. Laajennetun todellisuuden käyttö säästää työaikaa ja helpottaa eri suunnittelualojen kommunikointia. Laajennettua todellisuutta voidaan hyödyntää muun muassa seuraavissa osa-alueissa: luonnossuunnittelu, ristiintarkastelu, korjausrakentaminen, muutostyöt, rakennuspaikan sopivuuden arviointi, kokoukset ja konsultointi. Näissä osa-alueissa rakennuksen 3D-mallin näyttäminen virtuaalimaailmassa havainnollistaa paremmin kuin piirustusten tutkiminen. Laajennetun todellisuuden teknologioita on helppo ja nopea käyttää, kun voidaan hyödyntää jo suunnitteluvaiheessa tehtyä tietomallia. Tällöin ei tarvitse luoda erikseen 3D-mallia tai visualisoida 2D-kuvien perusteella.

## 4 Ohjelmistopolku

Opinnäytetyössä kokeiltiin kolmea eri sovellusta, joiden kautta 3D-mallin saa HoloLens-laseihin. Projektin alussa on hyvä tiedostaa eri teknologiat ja laitteet, jokainen sovellus toimii eri tavalla ja lopputulokset sopivat eri käyttötarkoituksiin. Käyttötarkoitukset voidaan jakaa kahteen pääluokkaan; visuaalinen ja tekninen käyttö.

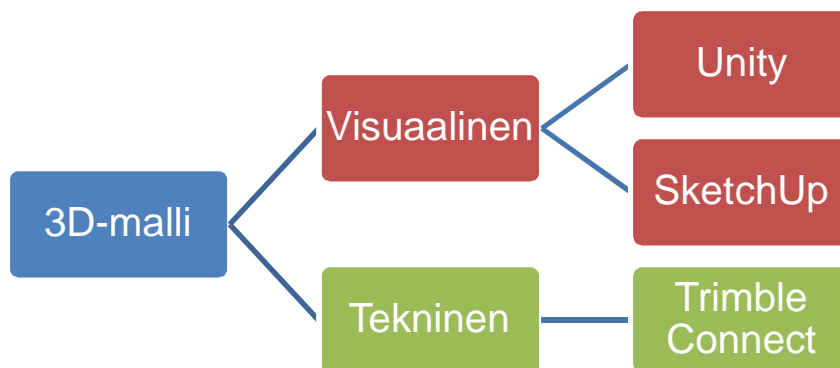
Ohjelmistopolun avulla määritellään mitkä tiedostomuodot näyttävät 3D-mallin HoloLens-laseissa sekä kerrotaan väliaskeleet suunnitteluohjelmasta hologrammiksi (kuva 14). Käyttötarkoituksesta riippuen mallia joudutaan välissä visualisoimaan ja valitsemaan oikea sovellus käyttöä varten. Visualisoinnilla tarkoitetaan materiaalien määrittystä oikean näköisiksi sekä mahdollisten objektien, kuten kalusteiden lisäämistä. Kokeiluissa tärkeää oli myös sovelluksesta mallin takaisin syöttö mallinnusohjelmaan muokkauksiin, joka ei näillä ohjelmilla toistaiseksi onnistunut.

Suunnitelmat tehdään nykyään pääosin 3D-suunnitteluohjelmilla, joten mallia on helppoa hyödyntää laajennetun todellisuuden käyttötarkoituksiin. Projektin alussa olisi hyvä tehdä jo valinta, mitä teknologiaa halutaan käyttää ja missä tarkoituksissa. Virtuaalitodellisuus sopii paremmin visuaaliseen esittelyyn ja yhdistettyä todellisuutta voidaan hyödyntää teknisessä läpikäynnissä. Lisätty todellisuus taas voi tuoda sekä visuaaliseen esittelyyn että tekniseen läpikäyntiin uutta näkökulmaa. 3D-malli visualisoidaan sen käyttötarkoituksesta riippuen ja viedään eteenpäin, joko suoraan laitteeseen tai laitteessa toimivaan sovellukseen.



Kuva 14. Ohjelmistopolku tietomallista alustaan

Kummatkin esittelytavat, tekninen ja visuaalinen, sopivat kaikkiin kolmeen teknologiaan. Esittelytavan valinta vaikuttaa alustan ja käytettävän sovelluksen valintaan (kuva 15). Kun alustaksi on valittu HoloLens, ja tiedetään, halutaanko mallia käyttää tekniseen läpikäyntiin vai visuaaliseen esittelyyn, valitaan sovellus, jonka kautta malli avataan. HoloLens-äylaseilla käytettiin kolmea eri sovellusta, jotka sopivat paremmin joko tekniseen tai visuaaliseen esittelyyn. Sovellukset olivat Unity, SketchUp ja Trimble Connect.



Kuva 15. Ohjelman valinta esittelytavan perusteella

Testien perusteella Trimble Connect soveltuu parhaiten tekniseen läpikäyntiin, visuaalissa esittelyssä se tuntui olevan hankalasti käsiteltävä. Unityn kautta mallin vienti on nopein eikä mallin avaaminen vaadi Internet-yhteyttä, joten se sopii visuaaliseen esittelyyn parhaiten. Unityn kautta saadaan myös määritettyä materiaalit, joka auttaa visuaalisessa tunnistamisessa ja havainnollistamisessa. SketchUp-ohjelman kautta saadaan esimerkiksi näytettyä laajoja alueita ja paikasta voidaan hypätä toiseen valmiiksi tehtyjen

näkymien kautta. SketchUp näyttää myös materiaalit, joten se sopii myös esittelykäyttöön hyvin.

Tekninen esitystapa sopii parhaiten asiantuntijoille, mutta visuaalinen näkökulma sopii sekä asiantuntijoille että maallikoille. Tämän takia visuaalista esitystapaa suositetaan asiakastapaamisissa ja esittelytilaisuuksissa. Tekninen esitystapa sopii taas projektin työryhmän sisäisiin palavereihin ja muihin tapaamisiin.

Kun tietomalli viedään Trimble Connectiin, sen niin sanottu VR-päätepysäkki on HoloLens. Mallia voidaan tutkia Trimble Connectin kautta myös älypuhelimella tai tietokoneella. Unityn kautta mallia voidaan käyttää muun muassa HTC Vivessä, Arilynissä ja monissa muissa VR-ratkaisuissa. Unityn kautta saadaan tehtyä myös monipuolisia pelimalleja eri käyttötarkoituksiin.

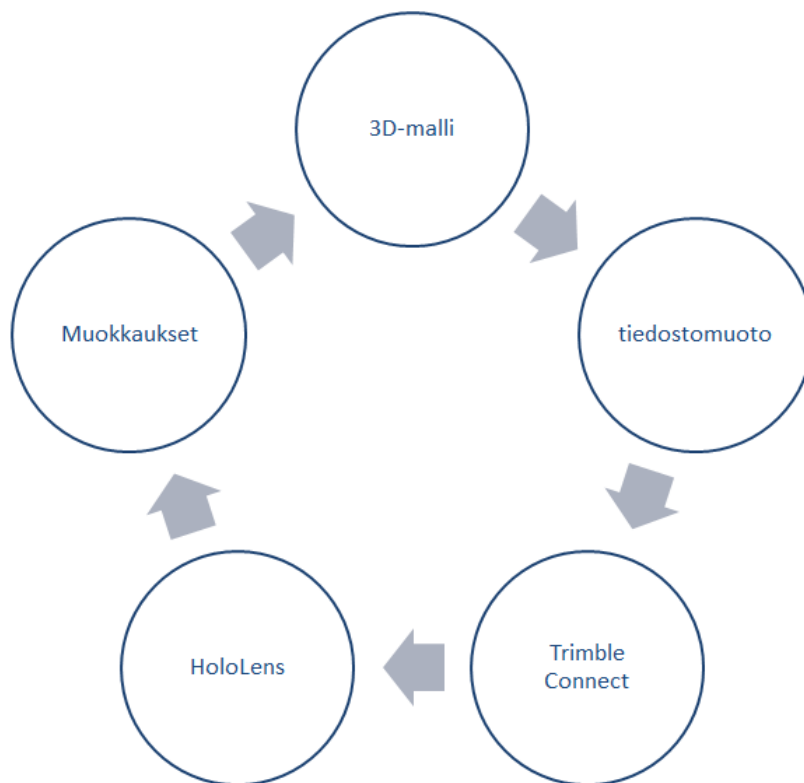
Microsoft tekee yhteistyötä Trimblen, Unityn, Deeptalen ja Umbran kanssa HoloLens ja Mixed Reality -sovellusten tuottamiseksi. [13.] Trimblen avulla HoloLens-älylaseihin kehitettiin Trimble Connect -sovellusta ja SketchUp Vieweriä.

#### 4.1 Trimble Connect

Trimble Connect on Trimblen omistama pilvipalvelu-perusteinen yhteistyöympäristö, joka perustuu Gehry Technologiesin kehittämään GTeamiin. Trimble Connect -sovelluksen saa auki HoloLens-laseilla, matkapuhelimella ja tietokoneella, jolla se toimii niin työpöytäsovelluksen kuin selaimenkin kautta. Trimblen avulla Rambollilla lähdettiin testaamaan HoloLens-laseja ja Trimble Connectin toimivuutta rakennusprojekteissa. Trimble Connect toimi ensimmäisenä tutkimussuuntana mallin avaamiseen HoloLens-laseissa. [4.]

Trimble Connectin kautta mallit saa avattua yksinkertaisesti HoloLens-laseilla (kuva 16). Malli tallennetaan Trimble Connectissa aukeavaan tiedostomuotoon ja viedään sovellukseen. HoloLens-laseista avataan Trimble Connect ja valitaan sieltä avattava malli. HoloLens avaa mallin ja se kiinnitetään johonkin pintaan. Malliin saa lisättyä kommentteja ja merkintöjä Trimble Connectin työkaluilla. Malli olisi tärkeää saada myös muokkauksiin takaisin alkuperäiseen suunnitteluohjelmaan. [4.]

Kokeilujen aikana havaittiin, että mallin ollessa pitkään auki tai se avataan uudestaan virransäästötilasta, mallin ankkurointipiste on siirtynyt ja mallissa esiintyy värivirheitä. Koska sovelluksessa ei ole vielä mahdollista kiinnittää mallia paikallistamisjärjestelmän eli GPS:n avulla, ankkurointi on tärkeää, jos malli täytyy avata tiettyyn suuntaan ja oikein päin. Liika valo, kuten auringonpaiste, vaikeuttaa mallin näkemistä ja kiinnittymistä oikeaan kohtaan, joten malli saattaa heijastumien takia liikahtaa pois paikaltaan. Malleissa esiintyi jonkin verran perspektiivivirheitä eivätkä mallit välttämättä aina olleet oikean kokoisia, vaikka mallit sovelluksen mukaan olisivatkin skaalattu 1:1 eli oikean kokoisiksi. [4.]



Kuva 16. Ohjelmistopolku suunnitteluohjelmasta Trimble Connectiin

Trimble Connectiin voi ladata kaikenlaisia tiedostoja, samalla tavalla kuin mihin tahansa pilvipalveluun. Trimble Connect ei avaa kaikkia tiedostomuotoja, vaan 3D-suunnitteluohjelmasta täytyy tuoda ulos joko suoraan tai toisen ohjelman kautta yhteensopiva tiedosto. Trimblen omien sivujen perusteella Connect avaa seuraavia tiedostopäätteitä: .3dm, .3ds, .dae, .dgn, .dwg, .dxf, .fbx, .ifc, .iges, .igs, .kmz, .obj, .off, .sldasm, .sldprt, .skp, .stp, .step, .stl ja .x3d. Liitteeseen 2. on lueteltu kaikki tiedostopäätteet ja niiden natiiviohjelmat sekä suunnitteluohjelmat, joihin on mahdollista tuoda kyseinen tiedosto tai tulostaa

sellainen ulos. Taulukkoon 2. on määritelty samat tiedostopäätteet sekä poimittu Rambollilla käytetyimmät suunnitteluohjelmat. Esimerkiksi Revit-ohjelmalla tehty 3D-malli tulee kääntää DWG-, DGN-, DXF- tai IFC-muotoon. Taulukkoon 2. on lueteltu Rambollilla käytetyimmät suunnitteluohjelmat. [4.]

Taulukko 2. Tiedostopäätteet ja suunnitteluohjelmat, joissa kyseiset tiedostopäätteiset tiedostot pystytään importoimaan eli tuomaan tiedostoon ja exportoimaan eli viemään tiedostosta ulos

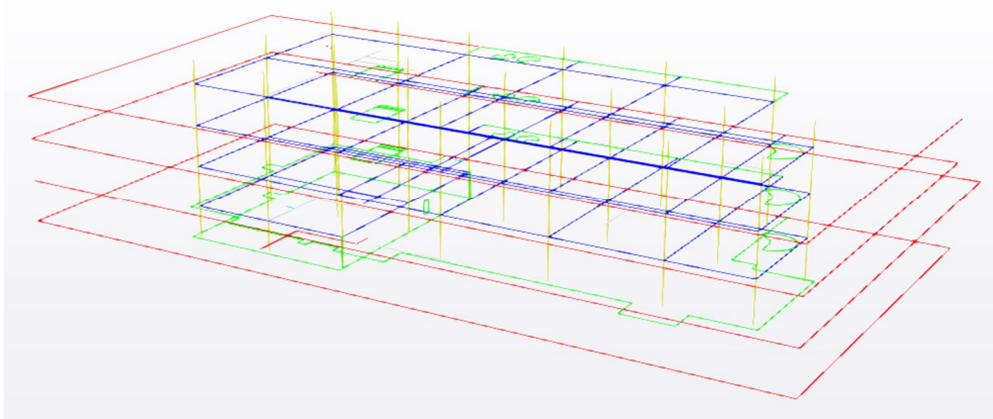
Tiedostopäätte	AUTOCAD	TEKLA	ARCHICAD	SKETCHUP	REVIT	RHINOCEROS
.3DM						X
.3DS				X		
.DAE	X			X		X
.DGN	X	X	X		X	
.DWG	X	X	X	X	X	X
.DXF	X		X	X	X	X
.FBX	X			X		X
.IFC	X	X	X		X	
.IGES	X					
.IGS	X					
.KMZ				X		X
.OBJ				X		
.OFF						
.SLDASM						
.SLDPRT						
.SKP		X		X		X
.STP						
.STEP						
.STL	X					
.X3D						

Rhinoceros on 3D-mallinnusohjelma ja sitä käytetään muun muassa mallien visualisoinnissa. Rhinoceros-ohjelman tiedostomuoto on 3dm ja mallin saa vietyä ohjelmasta ulos dae-, dwg-, dxf-, fbx-, kmz- ja skp -muodoissa. 3ds-tiedosto on yksi Autodesk 3ds Max -ohjelmassa käytössä olevista tiedostomuodoista. Autodesk 3ds Max -ohjelmaa käytetään mallinnukseen, animointiin ja renderöintiin. Myös SketchUp avaa 3ds-päätteisiä tiedostoja. 3ds Max avaa muun muassa SketchUpin, Unityn ja Revitin malleja. [20, 21.]

DAE tulee sanoista Digital Asset Exchange. Tiedostomuotoa käytetään monissa graafisissa suunnitteluohjelmissa tiedon siirtoon ohjelmien välillä. Tiedosto voi sisältää muun muassa kuvia, tekstuureita ja 3D-malleja. DAE-tiedostoja voidaan tallentaa AutoCAD-, SketchUp- ja Rhinoceros-ohjelmista. [22.]



DGN, DWG ja DXF ovat CAD -tiedosto muotoja, jotka saadaan auki esimerkiksi AutoCAD:ssä. FBX on Autodeskin omistama tiedonvälittämiseen tarkoitettu tiedostomuoto. Esimerkiksi DGN-tiedostot näkyvät Trimble Connectissa rautalankamallina (kuva 17), eikä siinä näy tekstuureja, objekteja tai niiden tietoja, joten se ei kovin hyödyllinen muoto viedä mallia Trimble Connectiin. [20.]



Kuva 17. DGN-tiedosto Trimble Connectissa

IFC tulee sanoista Industry Foundation Classes, joka on rakennusalan "standardi" eli tekstitiedostopohjainen tiedonsiirtoformaatti tietomallien siirtoon eri ohjelmien välillä. IFC:n kautta siirtyy vain 3D-geometriaa ja parametreja. Lähes kaikkiin mallinnusohjelmiin saa IFC:n importoitua eli vietyä ohjelmaan sekä exportoitua eli tuotua ulos. [18.]

IGES ja IGS tiedostomuotojen avulla voidaan vaihtaa tietoa eri CAD ohjelmien välillä. KMZ on Google Earthista saatava tiedostomuoto, joka tallentaa kartat ja sijainnit. KMZ tiedostomuodon saa tuotua esimerkiksi SketchUp:iin ja Trimble Connectiin. OBJ tiedostomuoto on Wavefront Technologiesin kehittämä geometriaperusteinen sen kehittyneelle Advanced Visualizer -animaatiopakettile. Tiedostomuotoa käytetään myös muissa 3D-grafiikka sovelluksissa. OFF tulee sanoista Object File Format ja on geometriaperusteinen tiedostomuoto, joka sisältää kuvauksen 3D-objektin monikulmioista. SLDASM ja SLDPRT ovat SolidWorksin tiedostomuotoja. SLDASM on kolmiulotteinen kokoonpano, joka on luotu SolidWorks-ohjelmalla. Kokoonpano sisältää monia SLDPRT-tiedostoja eli SolidWorks -osia, jotka organisoituvat yhteen kokoonpanoon. SKP tiedosto on SketchUp-mallinnusohjelman luoma kolmiulotteinen tiedosto. STP on CAD-ohjelmien käyttämä 3D-graafinen tiedosto. STEP tulee sanoista Standard for Exchange of Product Model Data ja on ISO 10303 standardiin perustuva, jota käytetään varsinkin teollisuudessa.

STL on CAD-ohjelma Stereolithographyn oma tiedostomuoto. X3D on XML-pohjainen formaatti 3D-tietojen esittämiseen ja viestintään. X3D-tiedostoa käytetään 2D- ja 3D-grafiikoihin, 3D-katseluun, animaatioon ja tietokone avusteiseen suunnitteluun. Se on paranneltu versio VRML eli Virtual Reality Modeling Language -tiedostosta. [22.]

Trimble Connectin kautta avautuvien tiedostomuotojen avulla selvitettiin, mistä ohjelmista saadaan näitä muotoja ja mitkä näistä ohjelmista ovat yleisessä käytössä Rambollilla. Desktop-, web- ja mobiili-versiot toimivat hiukan eri tavalla, myös tiedostojen avautumisissa on eroja (taulukko 3). Web-versiolla saa auki lähes kaikki tiedostomuodot, toisin kuin desktopilla tai mobiililla. Desktop-versio tuntuu olevan helppokäyttöisin ja siitä löytyy mallin katseluun ja muokkaamiseen eniten työkaluja. Tiedostojen ja käyttäjien hallinta onnistuu taas web-versiossa paremmin. Mobiililaitteessa mallin katselu toimii vattomasti, tosin malli täytyy ensin ladata laitteeseen, jotta sen saa auki. [4.]

Taulukko 3. Avautuvat tiedostomuodot Trimble Connectissa

Tiedostopääte	WEB	Desktop	Mobiili
.DWG	X	X	
.DXF	X	X	X
.FBX	X		
.IFC	X	X	X
.SKP	X	X	X
.3DM	X		

Trimble Connect toimii hyvin myös yhteistyöalustana projekteissa. Connectissa luotuihin projekteihin saa lisättyä projektin osapuolet, jolloin he pääsevät käsiksi jaettuihin tiedostoihin ja voivat jakaa, kommentoida ja katsella tiedostoja. Connectin vahvuutena on käytettävyys selaimen kautta, joten kaikkien käyttäjien ei tarvitse erikseen ladata ohjelmaa tietokoneelle. Sovelluksessa on käytössä myös kommentointi- ja merkintämahdollisuudet, joten sitä voidaan käyttää piirustusten läpikäymisen sijaan. Malleihin saa myös lisättyä mittoja ja jokaiselta objektilta saa luettua sen ominaisuudet. Esimerkiksi Teklalla tehdyistä ja IFC:n kautta avattujen mallien objekteista löytyy kaikki samat tiedot, jotka on alkuperäisessä suunnitteluohjelmassa määritelty. [4.]



Kuva 18. Rambollin uusi pääkonttori Trimble Connect -sovelluksessa tietokoneella

Connectissa mallia katsellessa pystyy suodattamaan erilaisia rakenteita tai kerroksia pois (kuva 18). Näkymät saa myös tallennettua, jotta ne löydetään seuraavalla kerralla helposti ja saadaan avattua suoraan kaikilla laitteilla. [4.]



Kuva 19. Trimble Connectin kautta avattu malli työmaalla HoloLens-laseilla katseltuna

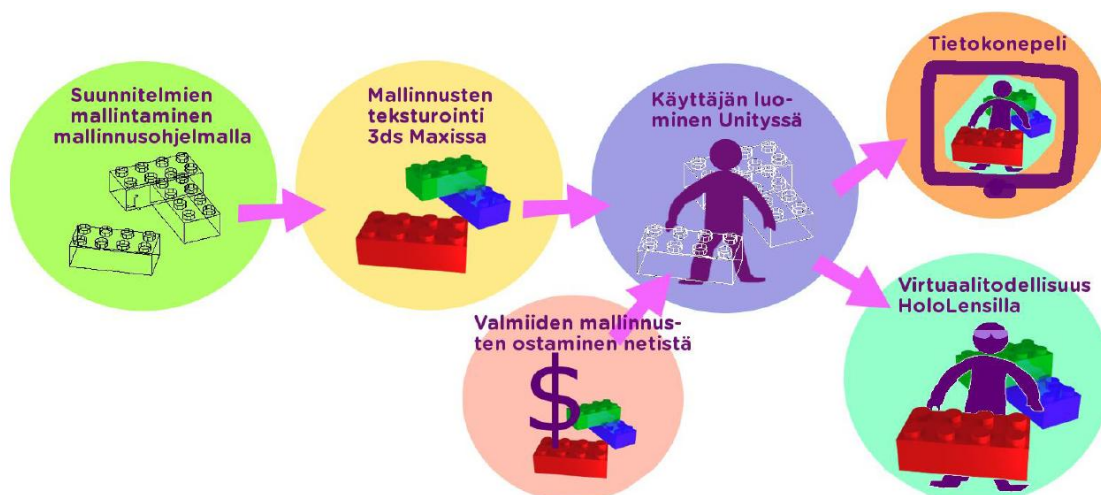
Ramboll Finlandin uusi pääkonttori valmistuu vuoden 2019 alussa Espoon Perkkäälle. Ennen työmaan aloittamista testattiin HoloLens-laseilla pääkonttoria tontille (kuva 19). HoloLens-laseilla heijastettiin arkkitehdin tietomallia paikan päällä. Tietomalli vietiin

IFC:nä tietokoneelta Trimble Connectiin ja avattiin malli suoraan HoloLens-älylaseilla Trimblen sovelluksessa.

## 4.2 Unity

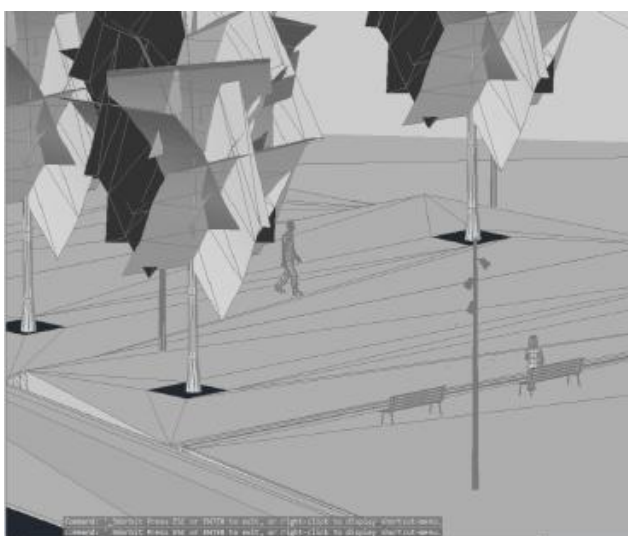
Unity on Unity Technologiesin kehittämä pelimoottori, jota käytetään pääosin suurimpien pelifirmojen tuotteiden ohjelmistoalustana. Unityllä saadaan luotua interaktiivisia tietokonepelejä, joissa käyttäjä pääsee liikkumaan ja toimimaan realistisen tuntuksessa mallinnetussa ympäristössä. Unity ja Microsoft tuottavat yhteistyössä työkaluja, joilla voidaan luoda yhdistetyn todellisuuden sovelluksia HoloLensiin. Unityn kautta tuodut mallit HoloLens-laseihin ovat yksi vaihtoehto Trimble Connectin ja SketchUp Viewerin rinnalla. [8.]

Rambollilla haluttiin läpikäydä prosessi mallinnusohjelmasta Unityn kautta laseihin ja selvittää mitä malli vaatii, kuinka paljon siihen menee aikaa sekä kuinka malli näkyy HoloLens-laseissa. Unityn kautta 3D-mallin saa vietyä HoloLens-lasien lisäksi myös HTC Vive-virtuaalilaseihin ja lisätyn todellisuuden Arilyn-sovellukseen sekä tallennettua pelinä tietokoneelle. Unityn fysiikkamoottorilla voidaan laskea kappaleiden painovoimia, törmäyksiä sekä liikemahdollisuuksia, jotka lisäävät todentuntuista kokemusta virtuaali-maailmassa. Lisäksi valokuvantarkat tekstuurit, reaaliaikaiset valojen ja varjojen päivitykset ja kohteisiin liitettävissä olevat äänimaailmat lisäävät todentuntuisuutta. [8.]



Kuva 20. Prosessikuvaus mallista Unityn kautta HoloLens-laseihin [8.]

Kuvassa 20. on esitetty prosessikuvaus suunnitteluohjelmasta Unityn kautta HoloLens-laseihin. Monista mallinnusohjelmista mallinnus saadaan joko suoraan tai toisen ohjelman kautta Unityyn. Mallinnusohjelmalla tehtyä tietomallia voidaan käyttää lähtötietona pelillistämiseksi. Kuvassa 21. on Autocad-suunnitteluohjelmalla suunniteltu aukio, joka on helppo viedä Unityyn .fbx -muodossa. 3ds Max -ohjelman kautta saadaan mallinnuksen kappaleille ja pinnoille määriteltyä materiaali, heijastavuus, kiilto ja läpinäkyvyys. Unityssä määritellään kappaleille niiden fyysiset ominaisuudet kuten esimerkiksi törmäyksen tunnistus, paino, animoitu liike ja äänimaailmat. Peli on valmis, kun luodaan vielä käyttäjä eli pelissä toimiva hahmo, jolle määritellään näkökenttä ja askelnopeus. [8.]



Kuva 21. Aukion suunnitelma Autocad-ohjelmassa [8.]

Valmis peli avataan Microsoftin Visual Studio -koodausohjelmassa, josta se lähetetään suoraan HoloLensiin. HoloLensiin tallentuu oma sovellus pelille, joten laitteeseen ei tarvitse asentaa erikseen katseluohjelmaa. HoloLens-emulaattorilla voidaan katsoa tietokoneella, miltä peli näyttäisi HoloLens-laseissa (kuva 22). Unity-mallin vieminen HoloLens-laseihin on monimutkaista ja vaatii perehtymistä sekä peliasetuksiin että koodiin. Jokaisella kokeilukerralla löytyi uusi asetus tai koodin pätkä, joka oli väärin, ja niiden ratkominen vie asiaan perehtymättömältä aikaa, vaikka Microsoftin ja Unityn nettisivuilla on paljon ohjeita. [8.]





Kuva 22. Aukio HoloLens-emulaattorilla katseltuna [8.]

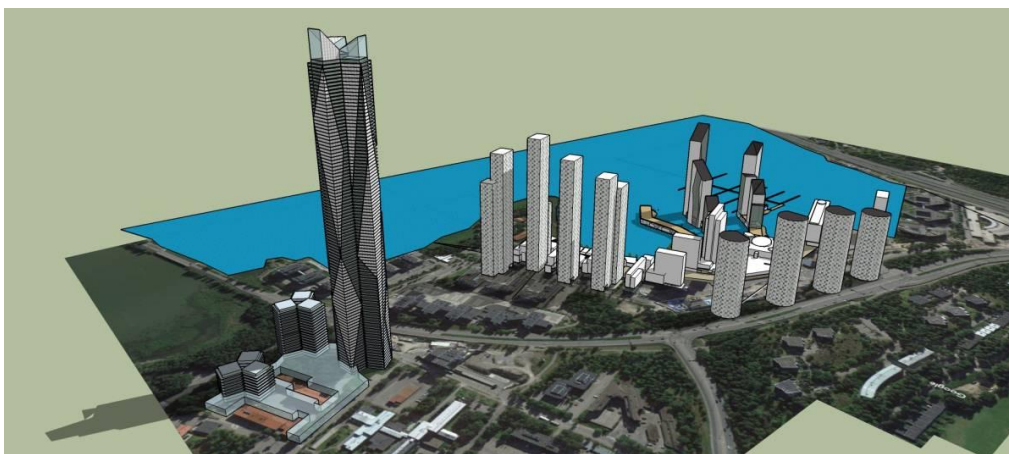
Unityn tuottama pelimäinen näkymä ja käyttöliittymä sopivat esittelykäyttöön paremmin kuin Trimble Connect. Näkymän saa auki ilman internet-yhteyttä eikä siinä enää tarvitse säätää asetuksia sopiviksi. Unityllä tehtäviin sovelluksiin on mahdollista lisätä erilaisia toimintoja. Unity tukee Windows Mixed Reality -ominaisuuksia, kuten avaruudellisia tiiloja, eleitä, liikettä ja ääntä. [8.]

#### 4.3 SketchUp

SketchUp on Trimblen omistama 3D-mallinnusohjelma, joka soveltuu rakenne-, infrastruktuuri- ja arkkitehtisuunnitteluun. Trimble julkaisi SketchUp Viewerin HoloLens-laselle. SketchUp Viewer oli yksi ensimmäisistä kaupallisista HoloLens-ratkaisuista. SketchUp tukee lukuisia eri tiedostomuotoja. Mallin voi viedä toiseen mallinnusohjelmaan, visualisointiohjelmaan tai Google Earthiin. Lisäksi mallin voi tallentaa 3DS-, DWG-, DXF-, FBX-, OBJ-, tai PDF-muotoon.

SketchUp näytti kokeilujen perusteella toimivan parhaiten esittelykäytössä. Sen avulla yhteistyökumppanit pääsevät arvioimaan ja kommunikoimaan yhdistetyssä todellisuudessa. Yhteistyötoiminto antaa useiden käyttäjien nähdä mitä katsotaan, internetin välityksellä tai paikan päällä. SketchUP Viewerissä pystyy myös tallentamaan näkymiä, jotka saadaan auki suoraan mallista. Malliin saa näkyviin paikat, joista näkymät ovat tallennettu. Kuvassa 23 on pohjana Google Earthista tuota kuva, jonka päälle on SketchUp-

ohjelmassa sijoitettu rakennukset 3D-mallina. HoloLens-laseilla voidaan mallia katsoa pienoismallina tai oikeassa mittakaavassa rakennusten vierestä tai katolta. [11.]



Kuva 23. Deeptalen ja Trimblen luoma Slushpolis-malli SketchUp-ohjelmassa [23.]

## 5 Vuorovaikutus

Vuorovaikutuksesta puhutaan, kun kahden tai useamman kappaleen välillä on vaikutussuhde. Vuorovaikutukseen kuuluvat puheet, äänet, eleet ja ilmeet. Tietokoneen ja internetin kautta voidaan vuorovaikuttaa muiden ihmisten kanssa kirjoittaen. Nykyään tietokoneet ja älypuhelimet voivat myös kuunnella puhetta, joten niille voidaan syöttää äänen käskyjä ja hyödyntää haku-toimintoa tai sanella sähköposteja. [9, s. 175-179.]

Ilman vuorovaikutusta on mahdotonta tietää, mitä toinen suunnittelee tai odottaa. Ihmisten välisessä vuorovaikutuksessa pitää kyetä ilmaisemaan itseään ja kuuntelemaan muita. Tietokoneelle pitää syöttää käskyjä ja se toteuttaa ne. Tietokoneelle syötetään käskyjä käyttöliittymän kautta, joka voi olla esimerkiksi hiiri, näppäimistö ja näyttö. Ihmisen tulee ymmärtää käyttöliittymän toiminta ja tulkita sitä, jotta vuorovaikutus onnistuu. [9, s. 175-179.]

HoloLens on tehokas kannettava tietokone ja sen tarkoituksena on vakuuttaa ihmiset käyttämään yhdistettyä todellisuutta jatkossakin. HoloLens-lasien käyttöliittymä ja käytettävyyks ovat isossa osassa laitteen helppokäyttöisyyttä, joka vaikuttaa taas laitteen käyttämiseen. HoloLens-laseissa on kapea näkökenttä, joten lasien asettaminen oikein pään ympärille on tärkeää, jotta näkökentän läpi näkee hologrammit kokonaisuudessaan. Kun lasit on asetettu päähän ja kiristetty kunnolla, pääpanta myös jakaa painon

pään ympärille eikä tällöin pitäisi painaa nenää. Jos käyttöliittymä on vaikea eikä käytettävyys ole helppoa, ei laite tule olemaan suosittu. [1.]

Virtuaalilaseilla katsellessa nähdään vain keinotekoinen maailma, joten tiedon jakaminen muille osapuolille on tärkeää. Useimmista lasista saadaan jaettua näkymää tietokoneen näytön kautta, jotta muut osapuolet näkevät, missä lasit päässä oleva henkilö menee ja mitä hän näkee virtuaalimaailmassa.

## 5.1 Ihminen ja tietokone

Ihmisen ja tietokoneen välinen vuorovaikutus eli interaktio virtuaalisen tiedon kanssa on tärkeää. Näin tietokone tekee sen mitä pitää ja sen käyttö on hyödyllistä. Tämän päivän ihmiset ovat jo tottuneet vuorovaikuttamaan tietokoneen kanssa näppäimistön ja hiiren avulla tai puhelimen kanssa käyttämällä kosketusnäyttöä. [9.] HoloLens sen sijaan ottaa komentoja eri tavalla. HoloLens toimii käsieleillä, jotka voidaan osittain korvata Clikerillä, sekä äänikomennoilla. [2.]

Ihmisen ja tietokoneen välisestä vuorovaikutuksesta käytetään termiä HCI (human-computer interaction), jota tutkitaan useista eri näkökulmista, kuten ohjelmistot, käyttäjäkokemus, käytettävyys ja käyttöliittymä. Käyttöliittymä on olennaisin osa vuorovaikutusta, koska sen avulla henkilö kertoo tietokoneelle, mitä tehdä. [9, s. 175-179.]]

HoloLens -lasien käyttö voi olla ensimmäisillä kerroilla hankalaa. HoloLens toimii eri tavalla kuin esimerkiksi monet virtuaalilasit ja vaikka se onkin kannettava tietokone, ei siinä ole mukana näppäimistöä tai hiirtä. HoloLens-lasit ovat ensimmäinen tietokone, joka toimii elekielellä. Eli lasseissa on elekäyttöliittymä, joka toimii kahdella eleellä, pinch ja flower, sekä puhetoiminnolla. Eleiden käyttö vaatii pientä harjoittelua, ennen kuin HoloLens tottelee käskyjä kunnolla. HoloLens-laseihin saa myös Bluetooth-yhteyden avulla kytettyä HoloLens clikerin, joka toimii käsieleiden paikkaajana tai langattoman näppäimistön, jolla kirjoitetaan HoloLens-sovelluksissa ilman käsieleitä tai clikeriä. Aiemman sukupolven tietokoneiden syöttölaitteina ovat toimineet näppäimistö, hiiri ja uutena vaihtoehtona myös kosketusnäyttö. [1.]



## 5.2 Ryhmätyöskentely

Trimble Connectin sekä SketchUpin kautta kahdet tai useammat HoloLens-lasit saadaan yhdistettyä ja sitä kautta jaettua sama malli kaikille käyttäjille (kuva 24). HoloLens-näky-  
mässä nähdään silloin muiden käyttäjien virtuaalihahmot ja heidän katseensa osoittamat  
suunnat linjoina. HoloLens-lasien näkymä saadaan myös tietokoneen kautta jaettua  
muille osallistujille. Tällöin useampi henkilö voi samanaikaisesti katsella ja kommentoida  
mallia.



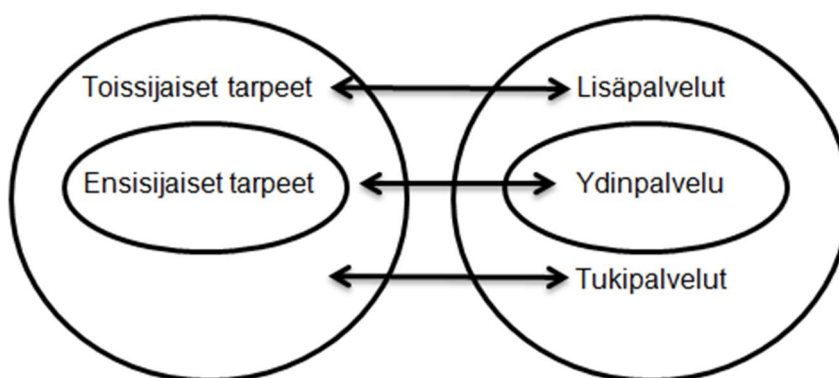
Kuva 24. Ryhmätyö HoloLens-laseilla [19.]

Yhdistetyn todellisuuden käyttö projektiryhmän palaverissa tai muussa ryhmäkäytössä edesauttaa kaikkien ymmärtämistä. Kun kaikki näkevät, mistä kohdasta puhutaan, on helppo keskittää huomio siihen. Lisäksi havainnointikyky lisääntyy, kun koko suunnitteluryhmä työstää samaa kohtaa yhdistetyssä todellisuudessa. Kun sovellukset ja laitteet vielä kehittyvät, voidaan tietokoneella mallintaminen siirtää yhdistettyyn todellisuuteen. Suunniteltavat kohdat voidaan muokata palaverissa oikeanlaisiksi ja korjata ristiintarkastuksessa esiin tulleet virheet.

## 6 Palvelukonseptointi

Palvelu tarkoittaa pääasiassa asiakkaalle tarjottavaa aineetonta hyödyn tuottavaa toimenpiteiden sarjaa, joskin palvelu voi sisältää myös konkreettisen fyysisen tuoton. Palvelut voivat olla standarditoimenpiteitä tai räätälöityjä yksittäiselle asiakkaalle ja niitä voidaan käyttää samanaikaisesti, kuin niitä tuotetaan. [10. s. 7.]

Rambollin uusitun strategian keskiössä on asiakas, joten palveluja muotoiltaessa asiakkaan tulee aina olla keskiössä. Asiakkaan tarpeet on hyvä huomioida ja mahdollisuuksien mukaan ryhmitellä ensisijaisiin sekä toissijaisiin (kuva 25). Asiakkaille tuotetaan arvoa ja heidän elämäänsä helpotetaan palveluilla. Asiakkaan mielikuva yrityksestä vaikuttaa myös palvelujen tarjoamiseen. Palvelupaketti kokonaisuutena sisältää ydinpalvelun, joka täyttää asiakkaan ensisijaiset tarpeet sekä lisä- ja tukipalvelut, jotka ovat asiakkaan toissijaisia tarpeita. [10, s. 10.]



Kuva 25. Malli palvelun käsitteestä [10, s. 10.]

Palvelussa käytettäviä resursseja kutsutaan tuotannontekijöiksi. Tuotannontekijät voidaan jakaa kahteen ryhmään; työvoima ja tuotantolaitteet. Palvelu voi olla muun muassa avaimet käteen -toimitus, johon sisältyy työvoima, tekniset ratkaisut, markkinointi, visualisointi, laite ja ohjelmat sekä tila. Palvelut voidaan myös jakaa pienempiin paketteihin, esimerkiksi Virtual Workshop, johon sisältyy mallin valmistelua, työpaja ja yhteenveto tai Virtual Studio, jossa annetaan käyttöön tila ja laite sekä valmistellaan materiaali. [10, s. 10.]

Yhdistetty todellisuus tulee muutaman vuoden sisään olemaan arkipäiväistä, joten yritysten kannattaa omaksua se mieluummin nopeasti kuin hitaasti. Opinnäytetyössä lähdettiin tutkimaan yhdistettyä todellisuutta ja sen käyttötarkoituksia sekä HoloLens-lasien toimivuutta. Opinnäytetyön yhdeksi tavoitteeksi asetettiin muutaman yhdistettyä todellisuutta hyödyntävän palvelun ideointi, joita voidaan myydä erikseen tai muiden palvelujen lisäksi asiakkaille.

Uutta teknologiaa harvoin hyödynnetään ilman tehokasta markkinointia ja valmista pakettia. Yhdistettyä todellisuutta ja HoloLens-laseja ei voi markkinoida asiakkaille vain ajatuksella, jossa mainostetaan teknologiaa ja sanotaan, että tästä on hyötyjä. Ajatus pitää muotoilla pieniin osiin käyttäen esimerkkejä. Palvelua ei osteta, jos se ei ole kohdistettu juuri oikeaan tarkoitukseen. Myös Rambollin sisällä huomattiin, että uusia teknologioita ja palveluita pitää markkinoida tehokkaasti ja käydä esittelemässä henkilökohtaisesti. Ilman esimerkkejä tai pilottiprojekteja palvelu harvoin menee kaupaksi.

Lasien toimivuutta ehdittiin kokeilla muutamassa projektissa. Vaikka pääsääntöisesti projektit olivatkin uudisrakennuskohteita, nähtiin HoloLens-laseissa ja yhdistetystä todellisuudesta paljon hyötyä myös korjausrakennuksen puolella. HoloLens oli projektien lisäksi mukana erilaisissa tilaisuuksissa ja tapahtumissa. HoloLens-laseilla kokeiltiin myös uutta markkinointimateriaalia. Useiden kokeilujen jälkeen todettiin, että yhdistetystä todellisuudesta on todella paljon hyötyä, mutta HoloLens-lasit ja siihen saadut sovellukset eivät ole vielä parhaimmillaan. Toistaiseksi nähdään, että parhaiten nämä hyödyttävät eri sidosryhmien välistä kommunikointia ja viestintää sekä ovat apuna markkinoinnissa.

HoloLens-laseja testaillessa tuli monelle ensimmäisenä mieleen, miten suunnitteluprosessia saadaan tehostettua HoloLens-laseilla ja miten lasit saadaan osaksi suunnittelu-prosessia. Ensimmäisissä projekteissa tärkeää on saada myytyä yhdistetty todellisuus lisäpalveluna, jotta asiakkaat näkevät hyödyn.

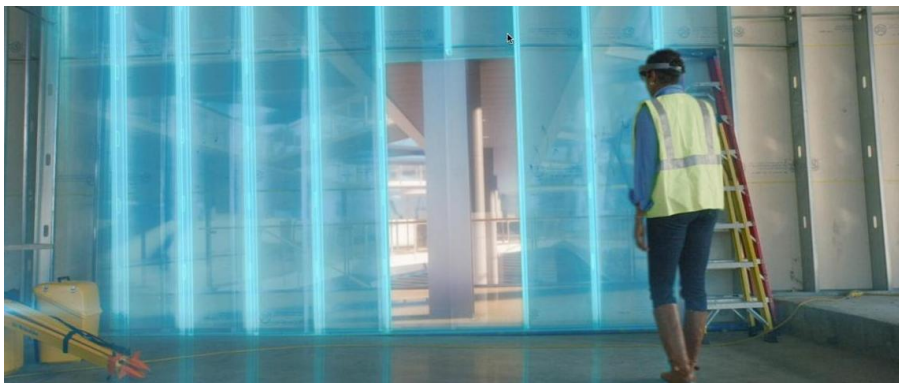
Projektiryhmien käytössä virtuaalitodellisuus ja yhdistetty todellisuus parantavat kommunikointia ja ymmärrystä. VR ja MR edistävät sidosryhmien havainnointia ja helpottavat täten hankkeen myymistä. Visualisoituja näkymiä voidaan hyödyntää markkinoinnissa. Lisätty todellisuus tuo lisätietoa piirustuksiin, dokumentteihin ja työmaalle.

Taulukko 4 arvostelee tähtiluokituksella laajennetun todellisuuden eri teknologioiden mahdolliset käyttötarkoitukset niiden hyödynnettävyyden mukaan eli mitä teknologiaa voidaan hyödyntää missäkin projektin vaiheessa parhaiten. Rakennusprojektin alussa on hyvä miettiä mihin käyttötarkoituksiin materiaalia voidaan tarvita; markkinointiin, myyntiin, suunnittelun avuksi jne. Nykyään isossa osassa projekteista tehdään rakennuksen tietomalli, josta on helppo lähteä visualisoimaan ja mallin saa kätevästi moneen muotoon. Kun on mietitty käyttökohteita, tulee valita käytettävä teknologia; virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus vai yhdistetty todellisuus. VR, AR ja MR toimivat parhaiten eri tilanteissa, jokaisessa on omat hyvät ja huonot puolensa.

Taulukko 4. Vertailu virtuaalitodellisuuden (VR), lisätyn todellisuuden (AR) ja yhdistetyn todellisuuden (MR) käyttötarkoituksista

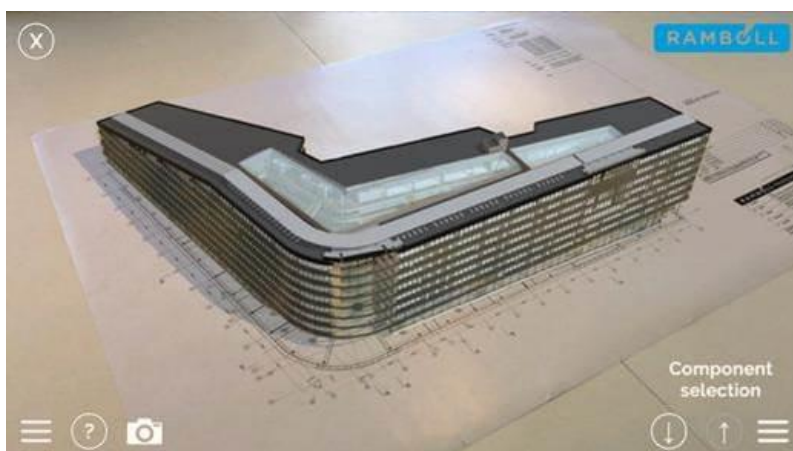
Käyttötarkoitus	VR	AR	MR
Korjauskohde	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★
Uudiskohde	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆
Myynti ja markkinointi	★★★★★	★★★★★	★★★★☆
Suunnittelu	★★★★☆	☆☆☆☆☆	★★★★★
Huolto	☆☆☆☆☆	★★★★★	★★★★☆
Koulutus	★★★★★	★★★★☆	★★★★★
Tiimityö	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★
Työmaan asennusapu	☆☆☆☆☆	★★★★☆	★★★★★
Suunnitelmien tarkastus	★★★★☆	☆☆☆☆☆	★★★★★
Työmaan turvallisuus	☆☆☆☆☆	★★★★☆	★★★★★

Virtuaalitodellisuus toimii kaikissa tilanteissa vähintään kohtalaisesti, koska se sulkee ulkopuolisen maailman pois näkyvistä. Riippuen käyttökohteesta fyysisen ja digitaalisen maailman yhdistyminen antaa paljon hyötyä, kuten esimerkiksi korjausrakennuskohdeissa. Korjausrakennuskohdeissa voidaan itse kohteessa kävellä HoloLens-lasien kanssa ja nähdä hologrammien kautta tulevat muutokset (kuva 26). Se antaa tilaajalle, suunnittelijalle ja työntekijälle paljon informaatiota, kuten minkälainen rakennuksesta oikeasti tulee, minkälaiset tilat sinne muodostuvat ja missä kohdassa tärkeät linjat sijaitsevat. Tilat voidaan myös visualisoida ja käyttää virtuaalitodellisuutta tilojen katseluun, mutta se ei anna kaiken kattavaa kuvaa.



Kuva 26. Rakennukseen tuleva seinä HoloLens-laseilla katsottuna [4.]

Uudisrakennuskohteissa HoloLens-laseilla saatava hyöty on rakennuksen kohdistaminen tyhjälle tontille. GPS-toimintoa ei opinnäytetyössä käytetyissä sovelluksissa ollut, joten rakennus tulee asetella itse käsin tontille oikeaan kohtaan. Uudisrakennuskohteissa käytetäänkin suurimmaksi osaksi virtuaalitodellisuutta, koska olemassa olevaa ei vielä ole. Uusissa hankkeissa käytetään usein myös ilmakuvasta ja siitä saatuun materiaaliin lisätään digitaalisesti uusi rakennus. Lisätty todellisuutta voidaan hyödyntää tabletilla, esimerkiksi tiettyyn paikkaan voidaan lisätä QR-koodi, joka lukemalla saadaan siitä kohdasta näkymä auki.



Kuva 27. Lisätyn todellisuuden käyttö

Kiinteistönvälittäjä voi käyttää lisättyä todellisuutta apuna asunnon myynissä. Tabletilla nähdään lisätyn todellisuuden avulla esimerkiksi rakennuksen 3D-malli (kuva 27) tai tietoja laitteista tai pinnoista. Visualisoidut virtuaalitodellisuuden näkymät havainnollistavat enemmän. Virtuaalitodellisuutta käyttäen asunto voidaan sisustaa asiakkaan toiveiden mukaisesti, jotta nähdään millainen lopputulos olisi. Visualisoinnilla on tärkeä rooli esityskäyttöön viimeistellyissä malleissa, koska visualisoinnin avulla hahmotetaan kokonaisuuksia ja kohdennetaan tärkeisiin yksityiskohtiin.

Suunnittelun apuna varsinkin yhdistetystä todellisuudesta on paljon hyötyä. Yhdessä testiprojektissa suunnittelija testasi HoloLens-laseilla portaiden leveyttä ja pystyi liikkumaan tietomallin tiloissa. Kokeilun perusteella pääteltiin, että portaiden leveys on riittävä. Virtuaalitodellisuuslasien kautta päästään myös katselemaan tiloja, mutta liikkuminen siellä tapahtuu eri tavalla.

Huoltoyhtiöille voidaan tarjota lisättyä todellisuutta apuvälineeksi. Tabletin tai puhelimen avulla voidaan tuoda laitteen näytölle informaatiota kohdistetusta osasta. Informaatio voi sisältää kaikki tiedot osasta, mahdolliset viat sekä korjausohjeet. Kaikki tiedot voi olla linkkinä pilvipalvelimella, josta ne saadaan esiin esimerkiksi skannaamalla kuva tai muu merkki.

Yhdistettyä todellisuudetta ja virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää myös henkilöstön tai käyttäjien koulutuksessa. HoloLens-laseilla tai muilla VR-laseilla voidaan nähdä rakennus ennen sen valmistumista ja samalla harjoitella esimerkiksi toimimista ja poistumista hätätilanteessa. Sama tekniikka toimii myös, kun harjoitellaan laitteiden purkua ja kasaamista, jos ei voida harjoitella oikeiden laitteiden kanssa.

Yhdistetty todellisuus tuo uusia näkökulmia kokouksiin. HoloLens-lasien avulla voidaan pitää virtuaalikokouksia, joissa toinen henkilö on hologrammina paikalla, vaikka hän olisi toisella puolella maapalloa. Lisäksi koko laajennetun todellisuuden käyttö edistää eri osapuolien ymmärrystä ja havainnointikykyä. Palavereissa suunnitelmien tarkistaminenkin voi olla helpompaa virtuaalimaailmassa kuin paperisia piirustuksia selaillessa tai tietokoneen ruudulta tietomallia pyörittäessä. Virheet on helppo havaita, kun virtuaalirakennukseen pääsee tutkiskelemaan ja ne voi samalla merkitä virtuaalimallissa sekä ottaa kuvan ongelmasta.

Työmaan asennusavuksi sekä työmaalle suunnitelmien tarkastamiseen yhdistetty todellisuus on hyvä työkalu. Trimble integroi kokeiluna työmaakypärään HoloLens-lasit, jotka voivat auttaa työmaalla asennuksissa. Kypärä toimii suojaamisen lisäksi siis tietokoneena silmien edessä. HoloLens-laseilla voidaan nähdä muun muassa asennusjärjestys tai työmaan suunniteltu järjestys sillä hetkellä.

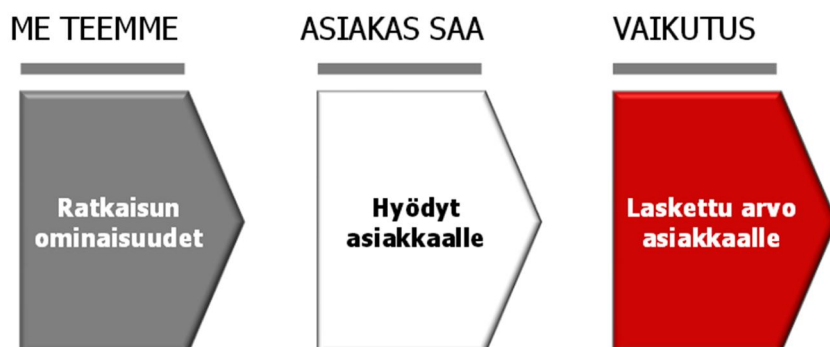
Työntekijöitä voidaan myös perehdyttää käyttämällä virtuaalitodellisuutta. Esimerkiksi mahdollisissa kriisitilanteissa vaativia tilanteita voidaan harjoitella etukäteen virtuaali-

maailmassa, jotta oikeassa tilanteessa osataan käyttäytyä oikein. Tällaista voidaan käyttää myös työmaan perehdytyksessä sekä vaativissa rakennuskohteissa, joissa on suuri mahdollisuus virheeseen. Simulaatiot ovatkin yksi suurimmista tarkoituksista hyödyntää virtuaalitodellisuutta.

Erityisesti rakennusalan konsultointi- ja suunnittelupalveluita tarjoavalle yritykselle virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus ja yhdistetty todellisuus tarjotaan rakennusprojektille lisäpalveluina. Liitteessä 3. on lueteltu neljä erilaista palvelua, jotka muotoituivat opinäytetyön aikana laajennetun todellisuuden parista. Virtuaalitodellisuuteen liittyvät Ramboll Virtual Workshop, Ramboll Virtual Tour sekä Ramboll Virtual Tour PC. Ramboll Virtual Workshopissa voidaan käyttää myös HoloLens-laseja. Ramboll Virtual Tourissa VR-kokemus esitellään puhelimen kautta Cardboard-laseilla. Ramboll Virtual Tour PC on peli, johon ei tarvita VR-laseja. Peli saadaan tehtyä Unity-pelimootorilla. Neljäs palvelu, Ramboll AR, tuo piirustuksiin virtuaalista sisältöä lisätyn todellisuuden sovelluksien kautta.

## 6.1 Arvolupaus

Arvolupauksella kerrotaan lyhyesti asiakkaalle mitä palvelu tai yritys tarjoaa ja millä tavoin se ratkaisee ongelman tai parantaa tilannetta nykyiseltään (kuva 28). Arvolupaukset voidaan jakaa kahteen kategoriaan niiden sisällön perusteella; funktionaalinen ja emotionaalinen. Funktionaalinen arvolupaus on konkreettista, kuten esimerkiksi tässä tapauksessa ”Yhdistetyn todellisuuden avulla parannat tiimityöskentelyä ja säästät rahaa”. Emotionaalinen arvolupaus sen sijaan on tunteisiin vetoavaa, kuten ”Yhdistetyn todellisuuden avulla sinäkin voit olla mukana päätöksenteossa ja vaikuttaa”. [13.]



Kuva 28. Arvolupaus [13.]

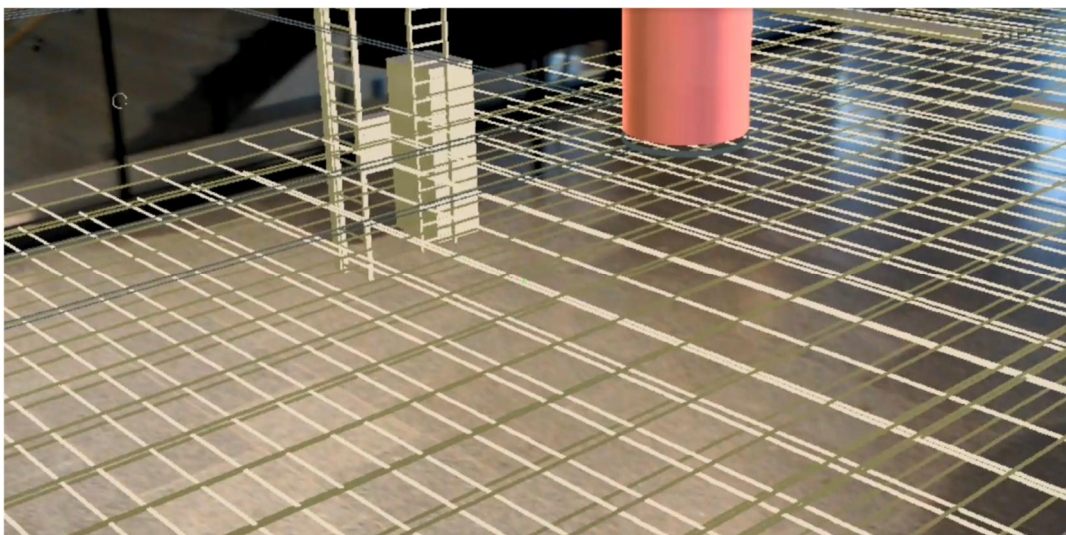
Kilpailevan yrityksen on helppo kopioida funktionaaliset arvolupaukset, joten niiden kautta ei saada pitkäkestoista kilpailuetua muihin yrityksiin. Yhdistetty todellisuus on kuitenkin vielä uusi asia, varsinkin Suomessa, joten sen nopeasta omaksumisesta saa etulyöntiaseman. Näin uuden asian myyminen on kuitenkin haastavaa, kun asiakkaat eivät ole tietoisia tai ovat muuten epäluuloisia. Arvolupauksilla asiakkaalle saadaan heti käytelyssä jo selkeästi esille mitä myydään ja mitä se hyödyttää. [13.]

Kommunikointi ja dokumentointi ovat rakennusalan suurimpia hukkia. Hukalla tarkoitetaan asiakkaalle arvoa tuottamatonta toimintaa. Tuottamaton toiminta ei ole hyväksi toiminnalle ja aiheuttaa kuluja, jotka voitaisiin helposti ehkäistä. Laajennetun todellisuuden käyttäminen tehostaa projektiryhmän ymmärtämistä ja kommunikointia. Sen lisäksi visuaalista näkökulmaa käyttämällä voidaan havainnointia lisätä sekä varmistaa, että kaikki ymmärtävät toisiaan. Arvolupauksissa voidaan keskittyä tavanomaisiin hukkiin ja kertoa, miten laajennettua todellisuutta hyödyntämällä saadaan ne kitkettyä pois. [14.]

## 6.2 Kokemuksia ja havaintoja

Yhdistetyn todellisuuden käyttäminen sai usein aikaan wow-efektin. Monille teknologia oli vielä hämmentävää ja uutta. Rambollin asiakasseminaarissa syksyllä 2017 esiteltiin HoloLens-laseilla lattian raudoituksia ja talotekniikkaa (kuva 29). Monia kiehtoi ajatus, näkeekö laite esimerkiksi seinän läpi, jos virtuaaliobjekteina näytetään seinän talotekniikkaa. Raudoituksia ja talotekniikkaa esiteltiin Trimble Connectin kautta, jonne ne oli viety IFC-tiedostona.





Kuva 29. Välipohjan raudoitukset HoloLens-laseilla katsottuna

Yhdistetyn todellisuuden käyttö on henkilökohtainen kokemus, joka lisää havainnollisuutta. Rakennuksen tietomallia pääsee tarkastelemaan kuvakulmista, jotka eivät ole ennen olleet mahdollisia. Monet käyttäjät liikkuvat innostuneina yhdistetyn todellisuuden mallissa sekä tutkivat sen toimivuutta ja hyödynnettävyyttä omissa projekteissaan.

Käyttöjärjestelmä ja sen tuoma elekäyttöliittymä tuntui monelle kokeilijalle olevan hankala. Sormien nipistys eli hiiren klikkailu pitää tehdä tarpeeksi erottuvasti lasien pienessä näkökentässä. Päättä ei kannata myöskään käännellä liian nopeasti, koska hologrammeilla kestää latautua.

Laseja pidettiin kovin painavana ja monet pitivätkin laseista kiinni samalla kun liikkuvat ne päässä. Lasien paino jakautuu pään ympärille, eikä jää painoksi nenän päälle, kun pääpanta kiristetään kunnolla, samalla kädet jäävät vapaaksi. Näkökenttä on pieni, joten senkin takia lasien tulisi olla kunnolla päässä, jotta näytön läpi näkee virtuaalimallin. Kovin kauaa laseja ei jaksa päässä pitää, paino alkaa rasittamaan jossain vaiheessa ja pää voi tulla kipeäksi. Silmälasien käyttäminen samanaikaisesti HoloLens-lasien kanssa mietittytti osaa kokeilijoista. Ne mahtuvat lasien alle, mutta osa otti myös silmälasit pois ennen HoloLens-lasien päälle pistämistä mukavuuden vuoksi.

HoloLens-lasit eivät aiheuta pahaa oloa, niin kuin monet VR-lasit niiden immersion eli virtuaalimaailmaan uppoamisen takia. Se ilahdutti monia ja toiset halusivatkin sen takia

kokeilla HoloLens-laseja, vaikka eivät ole uskaltaneet VR-laseja käyttää. Käytössä huomattiin myös, että liian valoisa ympäristö aiheutti virtuaalimallin heikkoa näkymistä. Jos laseja haluaa käyttää ulkona, on suositeltavaa odottaa pilvistä säätä.

Ensimmäiset HoloLens-lasit eivät varmaankaan tule vielä osaksi jokapäiväistä elämää rakennusprojekteissa, mutta niillä saa ensimmäisen kosketuksen yhdistettyyn todellisuuteen ja siihen, miltä työelämä saattaa muutamien vuosien päästä näyttää. Edelleenkin aikasilla omaksujilla on etulyöntiasema ja vaikka rakennusala onkin vanhan aikaista, on hyvä pysyä teknologian mukana.

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyön Yhdistetty todellisuus rakennesuunnittelussa tarkoituksena oli tutkia, miten yhdistettyä todellisuutta HoloLens-älylasien kanssa voidaan hyödyntää rakennesuunnittelussa ja muussa projektityöskentelyssä suunnittelijan tukena tai asiakkaan apuna. Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli luoda palveluja Rambollin BIM liiketoiminta ja kehitys -yksikölle, joita voidaan myydä esimerkiksi lisäpalveluna Rambollin muiden yksiköiden projekteille.

Opinnäytetyötä varten käytiin läpi laajennetun todellisuuden eri teknologioiden eroavaisuudet ja käyttötarkoitukset. Virtuaalitodellisuus (VR) on täysin keinotekoinen maailma, jota voidaan näyttää esimerkiksi HTC Vive -laitteella. HoloLens-lasit ovat yhdistetyn todellisuuden (MR) lasit, joilla näkyy sekä todellinen maailma että virtuaalimaailma. Virtuaalinen maailma heijastuu hologrammina todellisen maailman päälle ja sen kanssa voidaan olla vuorovaikutuksessa. Yhdistetty todellisuus saavutetaan yhdistämällä ihminen, tietokone ja ympäristö. Nykyään tietokoneet pystyvät ymmärtämään ympäristöä, jota kutsutaan ympäristötekniiseksi havainnoinniksi. Tämä saa aikaan muun muassa sen, että kun ihminen kävelee HoloLens-lasit päässä oikeassa maailmassa, liikkuu hän myös virtuaalimaailmassa.

Lisätyssä todellisuudessa (AR) lisätään keinotekoisia objekteja todelliseen näkymään ja objektien kanssa ei voida vuorovaikuttaa. Kaikki kolme termiä, VR, AR ja MR, voidaan käsittää myös termillä XR eli laajennettu todellisuus, joka käsittää siis kaikki todellisuudet oikean todellisuuden rajoilta virtuaalitodellisuuteen. Virtuaaliset lasit tulevat tuskin syr-

jäyttämään tietokoneiden suunnitteluohjelmistoja, ainakaan lähiaikoina, mutta ne kannattaa ottaa mukaan suunnitteluprojekteihin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Virtuaalitodellisuuden, lisätyn todellisuuden ja yhdistetyn todellisuuden käyttö voi tuoda paljon hyötyä rakennusprojekteihin.

Rakennetekniikkaan ja rakennesuunnitteluun perehdyttiin käymällä läpi eri tehtäviä ja vaiheita, jotka tulevat vastaan suunnitteluprojektissa. Yhdistettyä todellisuutta voidaan hyödyntää parhaiten työvaiheissa, joissa tietomallilla on iso osuus, kuten ristiintarkastelussa ja vaihtoehtojen tutkimisessa.

Opinnäytetyön aikana käytössä oli HoloLens-älylasit, joilla kokeiltiin eri sovelluksia ja kartoitettiin, mihin käyttötarkoituksiin ne sopivat. HoloLens-lasit ovat ensimmäinen kaupallinen yhdistetyn todellisuuden lasit, jotka toimivat kuin tietokone Windows 10 -käyttöjärjestelmällä. Laseihin saadaan WLAN- ja Bluetooth -yhteys sekä niissä on neljä kameraa, joilla HoloLens tunnistaa ympäristöä. HoloLens -lasit heijastavat virtuaalimaailman näytöltä hologrammina oikeaan maailmaan.

Ensimmäisenä lähdettiin testaamaan Trimblen pilvipalvelua Trimble Connectia, joka toimii sekä HoloLens-laitteessa että tietokoneella. Tietomallin saa ladattua suoraan esimerkiksi IFC -muodossa Trimble Connectiin, josta se sitten avataan sovelluksen kautta HoloLens-laseissa. Sovelluksessa on työkalurivi, jolla pystytään skaalaamaan mallia ja kirjoittamaan sinne huomioita. Huomattiin, että sovelluksessa on teknisempi käyttöjärjestelmä ja sovellus vaatii jatkuvan internet-yhteyden. Todettiin, että vaikka se onkin näppärä käyttää ja 3D-malli on helppo viedä sitä kautta laseihin, se ei sovi yleiseen markkinointiin ja esittelyyn.

Trimble Connectin jälkeen kokeiltiin 3D-mallin tuomista Unity -pelimoottorin kautta. Microsoft on tehnyt Unityn kanssa läheistä yhteistyötä kehittäessään sovelluksia HoloLens-laseille. Unityn kautta tietomallin lataaminen on monivaiheista ja vaatii ymmärrystä pelimoottorista. Tietomalli viedään pelimoottoriin esimerkiksi OBJ, FBX tai 3DS -muodossa, jossa se voidaan visualisoida ja samalla siihen voidaan tehdä interaktiivisia käskyjä. Käskyjen avulla luodaan muun muassa animaatiota, liikettä tai ääntä. Tämän jälkeen pelimalli viedään HoloLens-laseihin omana sovelluksena. Sovellus ei vaadi internet-yhteyttä ja on aina valmiina aukaistavaksi nopeasti. Tätä tuetaan asiakkaille esiteltäväksi, koska se on käyttäjälle helppo eikä siinä helposti esiinny virheitä. Unityn kautta saadaan myös tietomallista tehtyä peli tai vietyä se lisätyn todellisuuden Arilyn -sovellukseen.

Viimeisenä vaihtoehtona kerkesimme Trimblen kautta kokeilla SketchUp -ohjelman HoloLens-sovellusta. Se näytti olevan esittelykäyttöön parempi kuin Trimble Connect ja sitä myös Trimble suositteli käytettävän. SketchUp Viewerissa on myös yhteistyötoiminto, jolla useat käyttäjät voivat kommunikoida yhdistetyssä todellisuudessa.

Näiden tutkimusten jälkeen lähdettiin miettimään palvelukonseptia ja -paketteja, joita voisi tarjota asiakkaille. Lopulta palveluja saatiin enemmän lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden parista kuin yhdistetystä todellisuudesta. Palvelu on yleensä aineeton hyödyn tuottava toimenpide, jotka ovat joko standarditoimenpiteitä tai räätälöityjä paketteja. Palvelupaketti voi sisältää ydinpalvelun lisäksi mahdollisia lisä- ja tukipalveluja, jotka eivät ole asiakkaalle ensisijaisia. Koska yhdistetty todellisuus on vielä tuore asia, pitää se muotoilla palveluksi ja kohdistaa asiakkaalle juuri oikeaan tarkoitukseen. Tätä varten pitää asiakkaan tarve tunnistaa ajoissa ja osata markkinoida palvelu oikein. Markkinointia varten tehtiin pari pilottiprojektia, jotta esittely toimisi hyvin ja asiakkaatkin näkisivät etukäteen, mitä ovat tilaamassa.

HoloLens-lasien pilottiprojekteina oli pääasiassa uudisrakennuskohteita, vaikka teknologia sopisikin paremmin korjausrakennuspuolelle. Työvälineenä projektiryhmän palaverissa ne edistivät yhtenäistä ymmärrystä, mutta parhaimman tuloksen olisi saanut, jos kaikilla osapuolilla olisi omat lasit. Silloin jokainen pääsisi katsomaan omin silmin näkemää ja tekemään huomioita. Lisäksi osapuolet voivat olla vuorovaikutuksessa toistensa kanssa yhdistetyn todellisuuden näkymässä.

Palveluita mietittiin kaikkien kolmen teknologian eli AR:n, VR:n ja MR:n näkökulmasta. Monella asiakkaalla tuskin on laitteita, joilla voidaan nähdä laajennetun todellisuuden osia, joten ne pitää myös sisällyttää osaan palveluista avaimet käteen -menetelmällä. Avaimet käteen -menetelmän tulisi sisältää tekniset ratkaisut, markkinointimateriaali, visualisointi, laitteet ja ohjelmat sekä mahdollisesti myös tila, johon laitteet pystytetään. Palvelu voi myös olla pienempi, jossa tuotetaan vain materiaali esittämistä varten. Näin tehdään muun muassa Arilyn-sovelluksen kanssa, johon esimerkiksi 3D-malli tai siitä tehty panoraama-kuva syötetään. Se on loppukäyttäjälle ilmainen ja Arilyn-sovelluksen kautta materiaalia voi tutkia älypuhelimella milloin vain, missä vain.

Arvolupauksella kuvaillaan lyhyesti ja ytimekkäästi palvelun tarkoitus. Palveluihin voi liittää kahdenlaisia arvolupauksia; funktionaalisia ja emotionaalisia. Funktionaalinen arvolupaus on konkreettinen, se kertoo suoraan mitä hyötyä palvelu tuo. Emotionaalinen on

tunteisiin vetoava arvolupaus, joka kuvailee, miksi juuri kyseinen palvelu sopii asiakkaalle. Yhdistettyyn todellisuuteen ja HoloLens-laitteeseen keskittyvällä arvolupauksella ei välttämättä saavuteta kovin suurta suosiota, mutta yleisesti laajennettuun todellisuuteen viittaava arvolupaus voi kertoa asiakkaalle enemmän. Asiakkaat tunnistavat virtuaalitodellisuuden paremmin kuin yhdistetyn todellisuuden ja sen takia kannattaakin myydä asiakkaalle laajennetun todellisuuden teknologiota yhdessä eikä erikseen.

Laajennetun todellisuuden mahdollisia käyttötarkoituksia luokiteltiin VR, AR ja MR -toimivuuden mukaan. MR eli yhdistetty todellisuus sai viisi tähteä korjauskohteen ja koulutuksen parissa. Korjausrakennuskohteissa HoloLens-lasit voivat näyttää vanhan rakennuksen uudet suunnitelmat hologrammina paikan päällä. Se auttaa visualisoimaan tulevia muutoksia ja näyttämään minkälainen rakennus on lopulta. Koulutuksissa yhdistetyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden laitteiden avulla voidaan havainnoida erikoisia tilanteita tai valmiin rakennuksen toimivuutta. Monia tilanteita varten tarvittaisiin toimiva paikannusjärjestelmä, jota HoloLens-laseissa ei vielä ole. Monissa sovelluksissa on työkalu näkymän tekemiseksi, jolloin saadaan avattua näkymä suoraan. Näkymän avaaminen oikeassa paikassa ei kuitenkaan aina toimi, koska sen suunta ja kääntyminen ovat yhteydessä laseihin. Lasien pitää tällöin olla oikeassa asennossa ja korkeudessa, jotta näkymä on lähes oikeassa kohdassa. Muutamat VR-palveluihin erikoistuneet yritykset ovat keksineet keinon paikantamiseen. Esimerkiksi jotkut käyttävät merkkiä, joka on kiinnitetty tiettyyn kohtaan ja sen lukemalla voidaan avata näkymä siitä samasta kohtaa.

Yhdistetty todellisuus ei toistaiseksi ole paras teknologia myynnin ja markkinoinnin parantamiseksi, koska laitteet ovat kalliita, painavia ja esitystä varten ei riitä vain kuvat ja video kohteesta. Lisättyyn todellisuuteen riittää vain älypuhelin, joka lähes jokaisella nykypäivänä on. Lisätyn todellisuuden sovelluksia kehitellään jatkuvasti ja nyt voidaan jo sovitella verkkokaupan sohva omaan olohuoneeseen älypuhelimella. Lisäksi saadaan esimerkiksi Arilyn-sovelluksella printtiin lisättyä panoraama-kuva, video tai 3D-malli, joiden avulla voidaan esitellä muun muassa asuntoa ostajille. Myös virtuaalitodellisuuden avulla voidaan demonstroida valmista asuntoa tai koko rakennusta.

Virtuaalitodellisuutta mahdollisesti käytetään rakennusalaalla eniten uudiskohteiden visualisoinnissa. Koska kohdetta ei ole vielä olemassa, virtuaalitodellisuuteen voidaan sukeltaa kokonaan ja nähdä ja liikkua siellä. Näin voidaan myös esittää korjauskohteita, vaikka oikeaa tilannetta ei siinä näekään. Koska virtuaalitodellisuudessa ei ole mitään kosketusta oikeaan maailmaan, on se sen takia huono työkalu työmaan avuksi ja huoltoon.

Lisätty todellisuus soveltuu parhaiten kevyeen esittelyyn eikä sen käyttö edesauta suunnittelua. Sillä voidaan esitellä suunnittelijoiden luonnoksia, mutta suunnitelmien luominen ja tarkka tutkiminen eivät onnistu vaivattomasti. Lisätyn todellisuuden sovellukset keskittyvät paljolti mobiililaitteisiin oman ruudun äärelle ja näytön jakaminen muille ei onnistu yhtä sujuvasti kuin tietokoneella.

Ensimmäiseksi yhdistetyn todellisuuden laseiksi HoloLens toimii yllättävän hyvin, isoimmat puutteet koskevat sovelluksia. Monia myös häiritsee lasien pieni ruutu, jossa hologrammi on ja lasien pitääkin olla tarkasti nenän päällä, jotta ruudun läpi näkee kokonaan. Seuraavat HoloLens-lasit Microsoft on suunnitellut julkaistavan vasta vuonna 2019, joten niissä luultavasti korjataan kaikki se, mikä ei ensimmäisen sukupolven laseissa toimi. Vuodesta 2016 lähtien VR-laitteita on alettu julkaisemaan eri tahoilta ja tahti varmasti kiihtyy tulevaisuudessa. Virtuaalitodellisuus, yhdistetty todellisuus ja lisätty todellisuus ovat vasta aloittaneet digitaalisten alustojen neljännen aallon. Jokainen aalto on ollut toistaan isompi ja voidaan odottaa laajennetun todellisuuden olevan iso asia tulevaisuudessa.

Parhaimmillaan yhdistetty todellisuus toimii, kun käyttäjät pääsevät niin sanotusti asumaan talossa, jota ei ole vielä rakennettu tai korjausrakennuskohteessa, jonne tehtävät muutokset näkisi HoloLens-lasien kautta. Yhdistettyä todellisuutta ja virtuaalitodellisuutta varten tarvitaan osaavia tekijöitä. Varsinkin visualisointi on tärkeää, jos havainnollistamista halutaan myydä. Mutta ennen yhdistetyn todellisuuden yleistymistä ei sitä voida käyttää kovin monipuolisesti. Sovelluksia yhdistetyn todellisuuden laseille ei ole monia, vaikka Unityn kautta sovelluksia voikin tehdä itse. Unityn kautta yhdistetyn todellisuuden käyttö vaatii kuitenkin suunnittelua etukäteen, joten niin sanottu piirtäminen suoraan yhdistetyn todellisuuden laseilla ilmaan on toistaiseksi mahdotonta. Yhdistetyn todellisuuden laseja ei ole vielä kuluttajille saatavilla, ei ainakaan halvalla, joten laseille ei ole vielä montaa sovellustakaan. Ne, joilla lasit ovat hankittuna, kehittävät niille sovelluksia omaan tai asiakkaan käyttöön. Kun yhdistetty todellisuus yleistyy jokapäiväiseen käyttöön digitaalisuuden kärkimaissa, niin voidaan vain laskea päiviä hetkeen, jolloin tietokoneet korvataan yhdistetyn todellisuuden laseilla. Silloin laseja voidaan hyödyntää rakennesuunnittelussa muutoinkin kuin tiimityön parantamisessa, hahmottamisen avustamisessa ja markkinoinnissa.

## Lähteet

- 1 Microsoftin verkkosivut <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens> Luettu 10.03.2017
- 2 Microsoftin Developer Center <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/> Luettu 18.04.2017
- 3 Microsoft HoloLens opaskirja.
- 4 Trimble Connectin kotisivu <https://www.trimble.com/> Luettu 25.04.2017
- 5 Digi-Capital blog <http://www.digi-capital.com/news/2016/07/virtual-augmented-and-mixed-reality-are-the-4th-wave/#.WQMGe1XyhaQ> Luettu 23.03.2017
- 6 Techcrunch verkkosivut uutinen <https://techcrunch.com/2012/04/01/the-market-curve-the-life-cycle/> Luettu 28.04.2017
- 7 Arilyn -koulutus 31.8.2017 ja 13.9.2017
- 8 Juha-Matti Oksanen. Unity ja HoloLens -yhteistyö-ohjeet Rambollille.
- 9 Antti Oulasvirta. Ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus. Gaudeamus 2011.
- 10 Ritva Kinnunen. Palvelujen suunnittelu. Sanoma Pro Oy 2004.
- 11 SketchUpin verkkosivut <https://www.sketchup.com/> Luettu 23.05.2017
- 12 Virtuaalimaailman verkkosivut <http://www.virtuaalimaailma.fi> Luettu 12.06.2017
- 13 Yrittäjät verkkosivu. <https://www.yrittajat.fi/etela-pohjanmaan-yrittajat/a/uutiset/544138-arvolupaus-mita-sina-lupa-at-asiakkaillesi> Luettu 07.09.2017
- 14 Samuli Manninen, diplomityö. Rakennusalan hukkien priorisointi ja eliminointi.
- 15 Recent advances in augmented reality. <http://www.cs.unc.edu/~azuma/cga2001.pdf>
- 16 Trekk.com verkkosivu <https://www.trekk.com/insights/augmented-or-virtual-how-do-you-your-reality> Luettu 05.06.2017
- 17 Qualcomm verkkosivu <https://www.qualcomm.com/invention/cognitive-technologies/immersive-experiences/extended-reality> Luettu 09.11.2017

- 18 BuildingSmart verkkosivu <http://www.buildingsmart-tech.org/> Luettu 12.05.2017
- 19 Windows Blogs verkkosivu <https://blogs.windows.com/> Luettu 18.04.2017
- 20 Autodesk verkkosivut <https://www.autodesk.com/> Luettu 20.04.2017
- 21 Rhinoceros verkkosivut <https://www.rhino3d.com/> Luettu 20.04.2017
- 22 Fileinfo verkkosivut <https://fileinfo.com/> Luettu 21.04.2017
- 23 Deeptalen verkkosivut <https://www.deeptale.com/slushpolis/> Luettu 25.10.2017



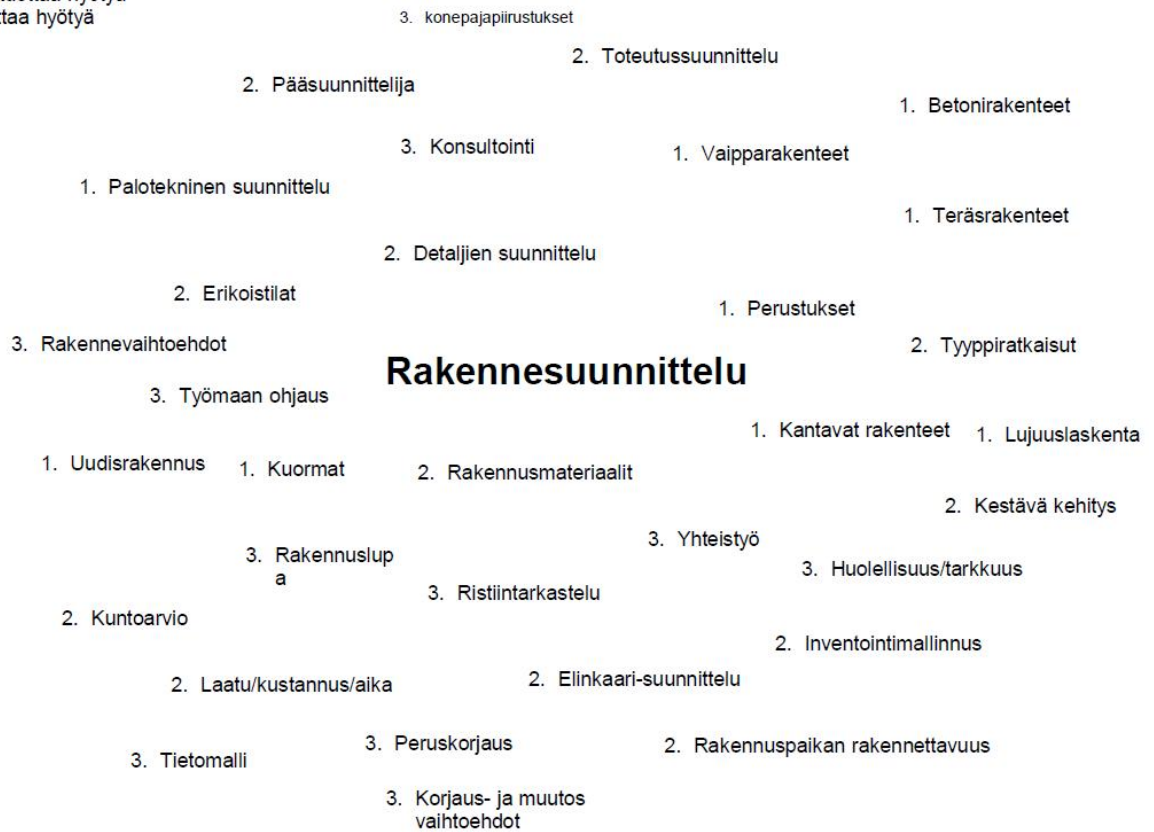
Trimble Connect - Hololens  
Tiedostojen ohjelmistot

Ohjelma	AUTOCAD	TEKLA	ARCHICAD	SKETCHUP	REVIT	RHINOCEROS	SOLIBRI	NAVISWORKS	MAGICAD	3DS MAX	NOVAPOINT	CADS	INVENTOR	MICROSTATION	SOLIDWORKS	GOOGLE EARTH	VERTEX	STEREOLITHOGRAPHY
3DM						X				X					X			
3DS	X			X														
DAE	X			X		X												
DGN		X	X		X									X				
DWG	X	X	X	X	X	X						X	X	X	X			
DXF	X		X	X	X	X						X	X	X	X			
FBX	X			X				X		X								
IFC	X	X	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X		X	
IGES	X									X			X	X	X			
IGS	X																	
KMZ				X		X										X		
OBJ				X						X					X			
OFF																		
SLDASM																		
SLDPRT															X			
SKP				X		X									X			
STP		X																
STEP													X	X	X			
STL	X												X		X			X
X3D																		

Tarkoitus RAK RAK ARK ARK RAK RAK VISU SÄH LVIA ARK RAK KONE INFRA VISUAL

## Rakennesuunnittelu - Mind Map

1=ei tuota hyötyä  
 2=voi tuottaa hyötyä  
 3=tuottaa hyötyä



# VIRTUAALITODELLISUUSPALVELUT RAKENTAMISEEN

## Ramboll Virtual Workshop



Loppukäyttäjät esim.  
leikkaussalien henkilökunta

Huollon & ylläpidon  
ammattilaiset –  
huollettavuus

päättäjille & sidosryhmille  
loputilanteen "Showroom"

**RAMBOLL**

## Ramboll Virtual Tour



Helppo ja kevyt tapa  
tuottaa VR-kokemus  
toimistoon, työmaalle tai  
kansalaisten ihmeteltäväksi  
– sisältö räätälöitävissä

Cardboard laseja saa  
nykyään myös marketeista  
– alk. 5€

## Ramboll Virtual Tour (PC)

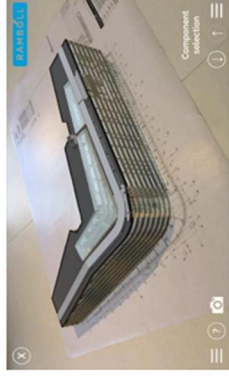


Pelattava PC-peli joka ei  
vaadi erikoislaitteita tai  
vaatimuksia

Aineisto voidaan jakaa  
esim. USB tikulla  
sidosryhmille

Palautetta voidaan kerätä  
esim. web-kyselyn avulla

## Ramboll AR



Piirustuksiin,  
dokumenteihin tai fyysisiin  
esineisiin voidaan tuoda  
interaktiivista  
virtuaalisisältöä.

Sisältönä voi olla malleja,  
videoita, ääntä, web-sivuja.  
Vain mielikuvitus on rajana!